

Bioremediation Using Manure from *Cavia porcellus* and *Helianthus annuus* in a Soil Contaminated by Diesel B5 S-50, Trujillo, 2023.

Campos-Romero, Felix Moises¹, Bachiller, Li-Villacorta, Marina Jimena¹, Bachiller, Solís-Muñoz, Haniel¹, Doctor, Valderrama-Puscan Marlon Walter¹, Magister, LLaque-Fernández Grant Ilich¹, Magister, y Calvanapón-Alva Flor Alicia¹, Doctora.

¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00189791@upn.pe, n00191299@upn.pe, haniel.solis@upn.pe, marlon.valderrama@upn.edu.pe, grant.laque@upn.edu.pe, flor.calvanapon@upn.pe

*Resumen– Soil contamination by hydrocarbons generates serious impacts on the fertility, properties and use of the soil; it can also affect human health, flora and fauna. The main objective of this research was to evaluate the degradation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in a soil modified with manure from *Cavia porcellus* and *Helianthus annuus*. For this, 4 treatments were carried out with 3 repetitions in each one consisting of 1.6 kg soil + 0.8 kg sand + 20,000 ppm B5 S-50 diesel and a sunflower specimen, treatments 2, 3 and 4 added 100, 200 and 300 g of guinea pig manure respectively. Physical-chemical analyzes of the soil and manure were carried out, the HTP concentrations were measured in a gas chromatograph. The results of the treatments showed high percentages of HTP remediation with 75.47%, 99.76%, 99.43% and 99.39% in treatment 1; 2; 3 and 4 respectively. Finally, it was concluded that the incorporation of guinea pig manure and sunflower plantation in a soil contaminated by B5 S-50 diesel turned out to be an effective method in the degradation of HTP, considering that these variables had positive results after obtaining percentages absorption greater than 99%.*

*Palabras clave- Soil contamination, hydrocarbon, manure from *Cavia porcellus*, *Helianthus annuus*.*

Biorremediación Utilizando Estiércol de *Cavia porcellus* y *Helianthus annuus* en un Suelo Contaminado por Diésel B5 S-50, Trujillo, 2023.

Campos-Romero, Felix Moises¹, Bachiller, Li-Villacorta, Marina Jimena¹, Bachiller, Solís-Muñoz, Haniel¹, Doctor, Valderrama-Puscan Marlon Walter¹, Magister, LLaque-Fernández Grant Ilich¹, Magister, y Calvanapón-Alva Flor Alicia¹, Doctora.

¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00189791@upn.pe, n00191299@upn.pe, haniel.solis@upn.pe, marlon.valderrama@upn.edu.pe, grant.llaque@upn.edu.pe, flor.calvanapon@upn.pe

Resumen– La contaminación de suelos por hidrocarburos genera graves impactos en la fertilidad, propiedades y uso del suelo, también pueden llegar a afectar la salud humana, flora y fauna. Esta investigación tuvo como principal objetivo evaluar la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en un suelo modificado con estiércol de *Cavia porcellus* y *Helianthus annuus*. Para ello, se realizaron 4 tratamientos con 3 repeticiones en cada uno conformados por 1.6 kg suelo + 0.8 kg arena + 20 000 ppm diésel B5 S-50 y un ejemplar de girasol, los tratamientos 2, 3 y 4 se agregó 100, 200 y 300 g de estiércol de cuy respectivamente. Se realizaron análisis físico-químicos del suelo y estiércol, las concentraciones de HTP se midieron en un cromatógrafo de gases. Los resultados de los tratamientos arrojaron altos porcentajes de remediación de HTP con 75.47%, 99.76%, 99.43% y 99.39% en el tratamiento 1; 2; 3 y 4 respectivamente. Finalmente, se concluyó que la incorporación de estiércol de cuy y plantación de girasol en un suelo contaminado por diésel B5 S-50 resultó ser un método eficaz en la degradación de HTP, teniendo en cuenta que dichas variables tuvieron resultados positivos tras la obtención de porcentajes de absorción mayores a 99%.

Palabras clave- Contaminación del suelo, hidrocarburo, estiércol de *Cavia porcellus*, *Helianthus annuus*.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años, la contaminación del suelo a nivel global ha sido impulsada por el impacto antropogénico, particularmente por la explotación de recursos naturales para la obtención de hidrocarburos [1]. La demanda por el uso de estos ha sido cada vez mayor y su uso indebido puede llegar a generar riesgos irreversibles en los suelos ya que poseen alta persistencia a largo plazo [2]. El suelo se ha visto afectado por la degradación química, debido a la acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones excedentes al poder amortiguador natural del suelo, impactando en sus propiedades y produciendo la disminución o pérdida la total de la fertilidad del suelo, además de generar impacto negativo social, económico, ambiental y en la salud [3].

Han existido técnicas biorremediadoras para recuperar a los suelos contaminados por los hidrocarburos, como el uso de plantas y estiércoles. Por lo que, en esta investigación se planteó la siguiente interrogante: ¿El uso de estiércol de *Cavia porcellus* (CP) y *Helianthus annuus* (HA) degradarán la concentración de HTP presentes en el suelo contaminado?

El problema ambiental actual ha generado la búsqueda de nuevas técnicas para la recuperación del sustrato, como lo es el uso de la biorremediación para eliminar los contaminantes y toxinas del suelo [4]. El nivel de remoción de un contaminante dependerá de diferentes factores como la presencia de sustrato, micro y macro nutrientes, microorganismos degradadores, condiciones ambientales, grado de contaminación, tipo de contaminante, características del suelo, entre otros [5]. La biorremediación es una técnica de remediación económica, sencilla y eficaz; además, no genera daños al entorno como ocurre cuando se usan otros métodos físicos o químicos [6]. Entonces, la biorremediación de suelos contaminados cubre la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de los derrames de hidrocarburos de manera estratégica con el fin de restaurar el suelo y su calidad ambiental, productiva y económica [7].

Una tecnología sustentable, es la fitorremediación, debido a que utiliza el potencial de las plantas para la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos [8]. De este modo, la fitorremediación ha sido identificada como una opción efectiva para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo [9]. Una planta fitorremediadora de suelos contaminados por hidrocarburos es el HA, obteniendo hasta más de un 97% de biorremediación en suelos contaminados por aceite de motor [10]. Esta planta se caracteriza por no ser muy exigente con los suelos y tolerar el estrés hídrico siguiendo con su función fitoextractora, es hiperacumuladora de metales y de elementos radiactivos. Por lo tanto, esta es una tecnología económica y fácil de manejar; además, tiene mayor efectividad si trabaja a la par con la materia orgánica, como el estiércol, aserrín, entre otros [11].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Una forma de restaurar la capacidad productiva del suelo, ha sido a través de la incorporación de la materia orgánica, ya sea en forma de estiércol, abono o composta, debido a que proporcionan y mejoran las condiciones del suelo, como la fertilidad [12]. El estiércol animal es un recurso valioso que ayuda a completar el ciclo de nutrientes y permite mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, siendo una fuente importante de nutrientes y energía para el ecosistema edáfico [13]. Asimismo, el abono animal disminuye la necesidad de la dependencia de productos químicos artificiales en los diversos cultivos al ser una alternativa fiable y sostenible [14]. En Perú, la producción de estiércol de cuy es la más alta en calidad y cantidad, en comparación con el de otras especies, por lo que se debió aprovechar este recurso para minimizar o incluso mitigar la contaminación con más frecuencia [15].

Emplear la fitorremediación en suelos contaminados por hidrocarburos fue un gran desafío, pero la aplicación de estiércol animal con un fitorremediador eficiente tuvo un resultado favorable en la degradación de los hidrocarburos en el suelo [16]. El aumento de la respiración microbiana y la remoción de los hidrocarburos fue el resultado de la adición del estiércol animal a un suelo cultivado con una especie vegetal en suelos contaminados [17]. La fitorremediación aportó en la formación y aumento de especies microbianas para la descontaminación del suelo [18]. De este modo, las enmiendas combinadas de abonos orgánicos y una especie vegetal en suelos contaminados por petróleo mejoraron de modo relevante la degradación del hidrocarburo ($P < 0,05$) [19].

El motivo de este estudio surgió por el interés de reducir e incluso eliminar las concentraciones de hidrocarburos en suelos contaminados, favoreciendo a la solución de esta problemática, ya que estos además de generar graves impactos en la fertilidad, propiedades y uso del suelo, también pueden llegar a afectar la salud humana, flora y fauna. Para ello, se planteó el uso del estiércol de cuy y girasol como agentes biorremediadores con la finalidad de recuperar el suelo contaminado por los hidrocarburos. De esta manera, el suelo recupera sus propiedades volviendo a ser apto para cultivos y plantaciones, retomando actividades económicas e impulsando el desarrollo sostenible. Además, se presentó un método de bajo costo en comparación a otros y eficaz para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, con el fin de impulsar la realización de más estudios acerca de este tema y esta metodología en el país.

Finalmente, la presente investigación tuvo como principal objetivo evaluar la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en un suelo modificado con estiércol de *CP* y *HA*. Asimismo, como objetivos específicos: analizar las características del suelo experimental y estiércol de *CP*, medir

la concentración de HTP pre-tratamiento y post-tratamiento en el suelo contaminado, por último, determinar la cantidad de estiércol de *CP* más eficiente para la remediación de suelos contaminados por diésel B5 S-50. De esta forma, la hipótesis general de la investigación fue: el uso del estiércol de *CP* y *HA* degradará de manera significativa la concentración de HTP en el suelo contaminado.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación fue aplicada ya que tuvo como objetivo dar una propuesta de solución a la problemática de suelos contaminados por hidrocarburos generado por el impacto de actividades humanas [20]. Además, tuvo enfoque cuantitativo porque se usó la observación, medición de muestras en unidades de medida y muestreos de manera rigurosamente secuencial. El diseño fue experimental con alcance correlacional ya que las variables independientes fueron modificadas para analizar el efecto de estas sobre la variable dependiente dentro de un ambiente controlado y usando técnicas estadísticas [21]. Asimismo, este estudio fue transversal ya que se realizó en un tiempo menor a lo que un año respecta.

La población del estudio estuvo constituida por 12 unidades experimentales de 2.4 kg de suelo experimental proveniente del jardín del Parque Deportivo Infantil Dr. Víctor Raúl Haya De La Torre, con coordenadas 9104489 N y 718698 E. Conformadas por muestras a razón de 1.6 kg de suelo + 0.8 kg de arena + 20 000 ppm de diésel B5 S-50, asimismo a 9 de las muestras se le añadió 0.1, 0.2, 0.3 kg de estiércol *Cavia porcellus* en cada 3 muestras experimentales respectivamente (Tratamiento 2, 3 y 4), a la muestra en blanco (Tratamiento 1) no se le incorporó estiércol de cuy. El muestreo se realizó con un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones [22].

La investigación se llevó a cabo en dos periodos, en el primero se determinó las características físico-químicas del suelo experimental, hidrocarburo y estiércol de cuy. Para ello, se recolectó un total de 19.2 kg de suelo del jardín del Parque Deportivo Infantil Dr. Víctor Raúl Haya De La Torre (Calle Lavoisier, Trujillo), con coordenadas 9104489 N y 718698 E. Posteriormente, se expuso en una amplia zona para realizar el secado a temperatura ambiente por 7 días, para ser tamizado con rejillas de 2 mm de diámetro y luego mezclado con arena a razón de 2:1 estableciendo el suelo experimental. La mezcla se distribuyó en 12 recipientes de plástico (22 cm de diámetro y 16 cm de altura) cubiertos para acondicionar el suelo experimental, a razón de 1.6 kg de suelo + 0.8 kg de arena por terrario. Después de los 7 días de acondicionamiento, el suelo se recolectó en muestras de 100 g por cada unidad experimental para efectuar el análisis de las características

físico-químicas. El muestreo se realizó de acuerdo con el método cuarteo y apilamiento [23].

Después de la homogeneización y análisis del suelo experimental, se procedió a contaminar con 20 000 ppm (2%) de diésel B5 S-50 cada uno de los 12 recipientes, con 5 días de acondicionamiento. Seguido, se tomaron muestras de 100 g de cada recipiente para formar una muestra compuesta de 1200 g para determinar la cantidad de hidrocarburos totales iniciales por medio del cromatógrafo de gases Thermo Scientific TRACE Serie 1300 acoplado a un espectrómetro de masas (MS) Thermo Scientific ISQ QD Single Quadrupole Mass Spectrometer para acceder a la base de datos integradas en este, ambos equipos del año 2017. Para ello, se extrajo el diésel B5 S-50 presente en el suelo de las unidades experimentales con el equipo Soxhlet utilizando 5 g del suelo experimental contaminado dentro de un papel filtro en forma de disco (grado 393) con un diámetro de 9cm y como solvente se utilizaron 125 ml de diclorometano (CH₂Cl₂ 99.9%) a una temperatura de 150°C durante 47 horas continuas, con un total de 60 reflujos. Para determinar las concentraciones de HTP presentes en el suelo se tuvieron que realizar muestras guía de 2.5, 5, 10 y 12.5 ppm del Diésel B5 S-50 en el cromatógrafo de gases para la comparación de resultados.

Por otro lado, el segundo periodo se basó en determinar el efecto del uso de estiércol de CV (cuy) y el trasplante de HA (girasol) en la degradación de hidrocarburos presentes en el de suelo contaminado. Para ello, se secó el estiércol por 3 días a temperatura ambiente, pasado esos días se recolectó y se analizaron sus características físico-químicas. Posteriormente, se realizaron 4 tratamientos (Tabla 1) con 100, 200 y 300 g de estiércol los cuales se tuvieron que homogeneizar durante 5 días para mejorar las condiciones de ventilación removiendo la mezcla y humedeciendo de manera precisa.

TABLA I
DOSIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamientos	Dosificaciones	Repeticiones
T1	SE: 2,400 g + H: 2%	3
T2	SE: 2,400 g + H: 2% + EC: 100 g	3
T3	SE: 2,400 g + H: 2% + EC: 200 g	3
T4	SE: 2,400 g + H: 2% + EC: 300 g	3
Total de unidades experimentales		12

SE: Suelo experimental, H: Hidrocarburo, EC: Estiércol de cuy.

Se trasplantaron los girasoles a cada unidad experimental (fig. 1), registrándose la altura inicial para cada una de las muestras para tener un control sobre su desarrollo. Culminado los 30 días de estudio, se procedió a medir la altura final de los ejemplares de girasol y se determinaron las concentraciones de hidrocarburos totales post-tratamiento del suelo contaminado haciendo uso nuevamente del Soxhlet con las mismas condiciones de la muestra inicial, una vez realizada la

extracción se hizo uso del cromatógrafo de gases, para determinar la eficiencia que tuvo el estiércol de cuy.



Fig. 1 Distribución de unidades experimentales.

Para la validación de los resultados se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el software de análisis estadístico InfoStat con un análisis de diseño experimental completamente al azar ya que se trabajaron 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, para determinar los resultados de forma válida y corroborar las hipótesis planteadas.

Finalmente, el presente trabajo de investigación se llevó a cabo cumpliendo los deberes del investigador según la Resolución Rectoral N° 104-2016-UPN-SAC, respetando la autonomía y derechos fundamentales de las personas, beneficencia para salvaguardar en todo momento la integridad de las personas y animales que sean objeto o parte del estudio y respetar los derechos de autor y propiedad intelectual de las fuentes utilizadas en el proceso de investigación, fortaleciendo una cultura de principios y valores.

III. RESULTADOS

A. Análisis de las características de suelo experimental y estiércol de cuy

TABLA II
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL DE CUY

pH	Humedad	M.O.	N	P	K
-	%	%	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
7.38	31.86	43.61	1.83	0.81	1.35

pH = potencial de hidrógeno; M.O.= materia orgánica; N = nitrógeno; P = fósforo; K = potasio.

TABLA III
CLASE TEXTURAL DEL SUELO EXPERIMENTAL

Análisis Mecánico			Clase textural
Arena	Limo	Arcilla	
%	%	%	
80	6	14	Franco Arenoso

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EXPERIMENTAL

pH	C.E.	M.O.	P	K
-	dS/m	%	ppm	ppm
8.2	0.3	1.4	23	242

En la tabla III se observó que el suelo experimental resultó ser un suelo franco arenoso, asimismo, en la tabla IV se apreció que este presentaba una baja cantidad de M.O. con 1.4% y de P con 23 ppm. Por otro lado, en el análisis del estiércol (tabla II) los resultados arrojaron condiciones óptimas, una relación NPK satisfactoria y buena cantidad de M.O. con 43.6%.

TABLA V
PARÁMETROS ANALIZADOS DEL SUELO EXPERIMENTAL POST-TRATAMIENTO

Parámetro	Unidad	Resultados			
		T1	T2	T3	T4
Conductividad	dS/cm	1.136	1.164	1.308	1.319
Humedad	%	17.64	21.44	30.62	27.16
pH	-	7.21	8.07	7.86	8.19
Materia Orgánica	%	22.57	25.96	31.19	34.11
Nitrógeno Total	%	0.71	0.87	1.03	1.16
Fósforo Total	ppm P ₂ O ₅	168	174	236	241
Potasio Total	ppm K ₂ O	294	281	348	366

En la tabla V, se pudo observar las diferencias de cada tratamiento haciendo énfasis en la MO, N y P que fueron aumentando de tratamiento en tratamiento, siendo el T4 el que mayores cantidades tuvo con 34.1% de MO, 1.16% de N y 241 ppm de P.

B. Concentraciones de HTP pre y post tratamiento en el suelo contaminado.

TABLA VI
RESULTADO DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE HTP EN EL SUELO EXPERIMENTAL (20000 PPM).

No.	Nombre de pico	Área (cuentas*min)	Cantidad	Concentración de HTP (ppm)
1	Decano	11.228493.405	0.8202	216.5328
2	Undecano	16839966.296	3.5955	949.212
3	Dodecano	22662418.108	5.6495	1491.468
4	Tridecano	25336708.789	8.0946	2136.9744
5	Tetradecano	29861889.742	7.9201	2090.9064
6	Pentadecano	38688407.515	7.4015	1953.996
7	Hexadecano	37461179.881	7.6511	2019.8904
8	Heptadecano	27209495.004	8.7714	2315.6496
9	Octadecano	27643660.735	8.1271	2145.5544
10	Nonadecano	24536981.848	5.4919	1449.8616
11	Ácido hexadecanoico	32389388.151	6.1612	1626.5568
12	Eicosano	19853306.649	5.8942	1556.0688
13	Heneicosano	8707184.480	n.a.	0
Total:		322,418,980.605		19,952.6712

En la tabla VI, se encontraron 13 componentes del diésel B5 S-50 en el suelo experimental inicial, arrojando una concentración inicial de HTP en el suelo leída en el cromatógrafo de gases de 19952.6712 ppm.

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}|}{\text{Valor teórico}} \times 100 \quad \dots (1)$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|20000 - 19952.6712|}{20000} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0.266 \%$$

Por lo tanto, el valor teórico de contaminación fue de 20,000 ppm y el valor experimental resultó ser de 19,952.67 ppm arrojando un porcentaje de error del 0.266%

TABLA VII
CONCENTRACIÓN FINAL Y ÁREA DE HTP EN EL SUELO EXPERIMENTAL CONTAMINADO DE LOS TRATAMIENTOS.

Tratamientos	Área (cuentas*min)	Concentración de HTP (ppm)
Tratamiento 1	70,460,488.730	< 25.00 ppm
Tratamiento 2	0.000	0.00 ppm
Tratamiento 3	964,963.766	< 12.50 ppm
Tratamiento 4	1,060,072.630	< 15.00 ppm

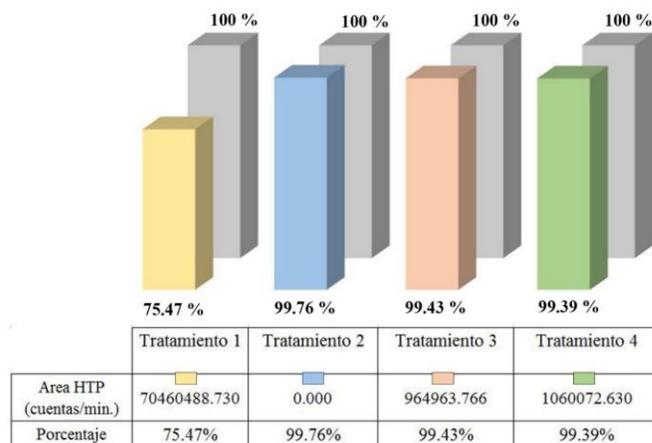


Fig. 2 Porcentaje de reducción de las Áreas (cuentas*min.) de los HTP encontrados en el análisis inicial y final del suelo experimental contaminado y de los tratamientos 1; 2; 3 y 4.

En la tabla VII y fig. 2, se presentaron los datos del Área inicial de 290,029,692.452 (cuentas*min) y final de los HTP en los tratamientos, donde la mayor reducción de las áreas de los HTP se dio en el tratamiento 2 llegando a 0.00

(cuentas*min) teniendo un margen de error de 0.266% y la menor diferencia se da en el tratamiento 1 de 70,460,488.730 (cuentas*min) en donde el suelo no se había agregado estiércol de *Cavia porcellus*.

TABLA VIII
ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	304433128594366	3	101477709531455	23.81	<0.0001
Columnal	304433128594366	3	101477709531455	23.81	<0.0001
Error	187524111183589	44	4261911617808.85		
Total	491957239777955	47			

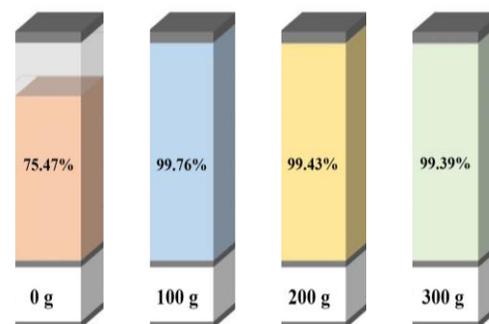
En la tabla VIII, se registraron los datos del área de los HTP de los tratamientos, permitiendo el análisis estadístico de varianza (SC tipo III) para la selección de la hipótesis. El p-valor al ser menor de 0.05 permite seleccionar la hipótesis alternativa (H1); por lo tanto, el uso de enmiendas orgánicas del estiércol de *Cavia porcellus* y *Helianthus annuus* degradará de manera significativa la concentración de hidrocarburo en el suelo contaminado.

C. Cantidad de estiércol de CP más eficiente para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

TABLA IX
ALTURA DE LOS GIRASOLES INICIAL Y FINAL.

Tratamientos	Repeticiones	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)
Tratamiento 1	T1.1	37	36
	T1.2	35	34
	T1.3	36	35
Tratamiento 2	T2.1	38	38
	T2.2	37	36
	T2.3	39	39
Tratamiento 3I	T3.1	39	39
	T3.2	40	39
	T3.3	48	46
Tratamiento 4	T4.1	39	38
	T4.2	38	38
	T4.3	33	33

En la tabla IX, se presentó la altura inicial y final del *Helianthus annuus* (girasol) trasplantados, en el cual se demuestra que después de los 30 días de tratamiento en conjunto al estiércol de *Cavia porcellus* (cuy) con respecto a las cantidades agregadas no tuvo influencia en el desarrollo de las especies vegetales.



	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Cantidad de estiércol (g)	0	100	200	300
Degradación del área de HTP (%)	75.47	99.76	99.43	99.39

Fig. 3 Relación entre la cantidad de estiércol de *Cavia porcellus* y el porcentaje de reducción de las áreas (cuentas*min.) de los HTP.

En la fig. 3, mostró la relación que existe entre las dosis de estiércol de *Cavia porcellus* (cuy) y el porcentaje de las áreas de los HTP post tratamiento, en el cual se evidencia que al agregar 100 g en conjunto al *Helianthus annuus* (girasol) presenta el valor más eficiente teniendo un resultado de 99.76% en la reducción de las áreas de los HTP y concentración en el tratamiento 2.

IV. DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como principal objetivo evaluar la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) presentes en un suelo modificado con estiércol de *Cavia porcellus* y *Helianthus annuus*. Los derrames de HTP son fenómenos comunes y de gran preocupación en países productores de petróleo ya que los efectos de este en el suelo incluyen la improductividad del suelo, contaminación de aguas subterráneas y toxicidad afectando la salud de los seres vivos [24].

El estiércol de mejor calidad proviene de aquellos animales que son alimentados con forraje verde, además es preferible que estos hayan sido criados en sombra, por lo que el estiércol de *Cavia porcellus* es rico en microorganismos y nutrientes [25]. En la tabla II, los resultados arrojaron que el estiércol de cuy utilizado presentaba un pH de 7.38 dentro del rango neutro, la variación de este puede afectar en esencia la actividad de las enzimas microbianas, la disponibilidad de nutrientes e incluso la productividad del suelo [26]. Además, la cantidad de nitrógeno fue de 1.83% y de materia orgánica un 43.61% similares a los resultados que se obtuvieron en una investigación determinando que el uso de este estiércol es

viable y satisfactorio [27]. Por lo tanto, se considera que el estiércol de *Cavia porcellus* resultó ser uno de los mejores en calidad y viabilidad para este tipo de tratamientos.

Por otra parte, el suelo experimental resultó ser franco arenoso (tabla III) por lo que los contaminantes derivados del petróleo pueden permanecer durante mucho tiempo y acumularse gradualmente ya que este suelo se caracteriza por ser más poroso que los demás y permite la absorción de los hidrocarburos [28]. Las características iniciales en el suelo sin contaminar (tabla IV) presentaron un pH de 8.2 ligeramente alcalino, la C.E. de 0.3 dS/m, la M.O. de 1.4% reflejando baja cantidad de nitrógeno, de fósforo fueron 23 ppm y de potasio 242 ppm. Los suelos con pH mayor a 8 suelen presentar insuficiencia de hierro, zinc y magnesio [29], además el suelo franco arenoso presentó un nivel medio de fertilidad de materia orgánica, con un porcentaje bajo en potasio y elevado de fósforo. De esta forma, el suelo experimental utilizado puede mejorar sus propiedades con la incorporación del estiércol de cuy como se apreció en los resultados finales (tabla V) donde la materia orgánica, nitrógeno y fósforo fueron aumentando de tratamiento en tratamiento.

Inicialmente, el suelo experimental (20 000 ppm) contenía 19 952.67 ppm de HTP (tabla VI) por lo que se presentó un margen de error del 0.266%, lo cual indica que el método de contaminación y de extracción del diésel fue el adecuado. Terminado el tratamiento se realizó el análisis de las concentraciones finales siendo todas menores a 25 ppm de HTP (tabla VII). Sin embargo, en el tratamiento 2 no se apreciaron la presencia de hidrocarburos, por lo que considerando el porcentaje de error (%E = 0.266%) este obtuvo una remoción de HTP del 99.7% siendo el más eficiente (figura 3). El cual contenía 100 g de estiércol de cuy, de esta forma la dosificación de estiércol y el trasplante de la especie vegetal produjeron cambios significativos en la disminución de los hidrocarburos presentes en el suelo experimental. En una investigación similar, obtuvieron una remoción de hidrocarburos del 96.15% haciendo uso del girasol y la bacteria *Burkholderia vietnamiensis* en un suelo contaminado con aceite residual automotriz, con una concentración inicial de 20 000 ppm [10].

Todos los tratamientos (1; 2; 3 y 4) cumplieron con el ECA (Estándar de Calidad Ambiental) para suelos del Decreto Supremo N°011-2017 MINAM donde la Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28) no debe superar los 1200 ppm en un suelo de parque. En cuanto a los resultados del análisis ANOVA, el p-valor al ser menor de 0.05 (tabla VIII) permitió seleccionar la hipótesis alternativa (H1); por lo tanto, el uso del estiércol de CV y HA degradará de manera significativa la concentración de HTP en el suelo contaminado.

Sin embargo, el estiércol no tuvo un efecto significativo en el crecimiento de las plantas de girasol (tabla IX), las dosis de estiércol de cuy no tienen influencia en el desarrollo y crecimiento de manera significativa [30]. Uno de los motivos por el cual los ejemplares de HA no se desarrollaron de manera óptima fue por la presencia de diésel en el suelo, los hidrocarburos inhiben el crecimiento y funcionamiento de las plantas llegando a causar la muerte, ya que interfieren en los procesos de recolección de agua y alimentación de estas [31].

IV. CONCLUSIONES

Se concluyó que, la biorremediación utilizando estiércol de *Cavia porcellus* y *Helianthus annuus* en un suelo contaminado por diésel B5 S-50 resultó ser un método eficaz en la degradación significativa de HTP, teniendo en cuenta que dichas variables tuvieron resultados positivos tras la obtención de porcentajes de absorción mayores a 99%.

Además, se logró analizar las características del suelo experimental demostrando que al ser franco arenoso aporta beneficios en la absorción de HTP y a través de los parámetros fisicoquímicos del estiércol de *Cavia porcellus* resultó ser de alta calidad evidenciando su eficiencia en la biorremediación.

Así mismo, se obtuvo la medición de la concentración de los HTP presentes en el suelo experimental pre (20,000 ppm) y post tratamiento (T1, T2, T3 y T4) menor a 1,200 ppm cumpliendo con los estándares de calidad ambiental para un suelo de parques según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

Finalmente, se determinó la cantidad de estiércol de *Cavia Porcellus* más eficiente para la remediación de un suelo contaminado por hidrocarburo, obteniendo un porcentaje de 99.76% de degradación de las áreas de los HTP compuestos en el suelo en donde se adiciono 100 g del estiércol anteriormente mencionado.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de manera indirecta o directa fueron participe en este proceso, dedicando su tiempo y conocimientos.

REFERENCIAS

- [1] Benavides López, M., Ordoñez, L. C., Guerrero Luna, N. F., & Huertas Delgado, J. L. "Suelo contaminado por hidrocarburos". *Boletín Informativo CEI*, 8(3), 228-231. 2022. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2908>
- [2] Rodríguez Gonzales, A., Zárate Villarroe, S. G., & Bastida Codina, A. "Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación". *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208. 2022. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1-9>

- [3] Peña Murillo, S. E., Zambrano Nevárez, E., Baquerizo Figueroa, J., Antón Loor, A., & Solórzano Aldaz, K. "Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos". *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (21), 226-236. 2019. https://www.researchgate.net/publication/341699843_Nuevos_sistemas_de_tratamientos_de_suelo_contaminado_por_hidrocarburos
- [4] Garzón, J. M., Rodríguez Miranda, J. P., & Hernández Gómez, C. "Revisión del aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible". *Revista Universidad y Salud*, 19(2), 309-318. 2017. <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- [5] Martínez Prado, M. A., & Soto Álvarez, C. E. "Remoción de hidrocarburos de petróleo de un suelo de baja permeabilidad: biorremediación y electroremediación". *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3), 955-970. 2017. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62053304022>
- [6] Rivera Ortiz, P., Rivera Lárraga, J. E., Andrade Limas, E. C., Heyer Rodríguez, L., Garza Requena, F. R., & Castro Meza, B. I. "Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 249-262. 2018. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.06>
- [7] Herrera, M. A., Cruz, E. J., & Paternina, D. A. "Biorremediación de suelos contaminados por petróleo". *Unigraria*, (1). 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13968.66566>
- [8] Riojas González, H. H., Torres Bustillos, L.G., Mondaca Fernández, I., Balderas Cortes, J. J., & Gortáres Moroyoqui, P. "Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos". *Química Viva*, 9(3), 120-145. 2010. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86315692003>
- [9] Ezeji, E. U., & Chukwudi, P. "Assessment of phytoremediation potential of cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp) on used motor oil contaminated soil". *African Journal of Biological Sciences*. 2021. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.3.3.2021.29-36>
- [10] Escalante Canizal, S., Márquez Benavides, L., Baltierra Trejo, E., Saucedo Martínez, B. C., & Sánchez Yáñez, J. M. "Biorremediación y fitorremediación de un suelo impactado por aceite residual automotriz con *Helianthus annuus* y *Burkholderia vietnamiensis*". *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(2), 104-114. 2017. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361353711003>
- [11] Buendía Ríos, H., Cruz Reyes, F., Meza Arquiñigo, C., & Arévalo Zumaeta, J. "Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo". *Alma máter Segunda época*, (1), 113-121. 2014. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/view/11873>
- [12] De Luna Vega, A., García Sahagún, M. L., Pimienta Barrios, E., & Rodríguez Guzmán, E. "Evaluación, Física, Química y Biológica de compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, ovino, cerdo y conejo más una vermicomposta". *Revista de Energía Química y Física*, 6(20), 33-40. 2019. <http://dx.doi.org/10.35429/JCPE.2019.20.6.33.40>
- [13] Cairo, P., & Álvarez, U. "Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya". *Pastos y Forrajes*, 40(1), 37-42. 2017. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269150990005.pdf>
- [14] Rodríguez Fernández, P. A., Álvarez Arcaya, M. V., Bastida Enamorado, I. "Impacto del estiércol ovino y del lixiviado de humus de lombriz en indicadores del crecimiento y productividad en el cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L)". *Ciencia en su PC*, 1, 46-59. 2020. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363107009>
- [15] Mancilla Castro, D. A., & Pérez Román, D. "Rendimiento y valor nutricional de Azolla filiculoides fertilizada con estiércol de cuy en abierto, Cochabamba". *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 7-14. 2022. <https://doi.org/10.53287/cbtn6542xa93u>
- [16] Ruley, J. A., Amoding, A., Tumuhairwe, J. B., Basamba, T. A., Opolot, E., & Oryem, H. "Enhancing the Phytoremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soils in the Sudd Wetlands, South Sudan, Using Organic Manure". *Applied and Environmental Soil Science*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4614286>
- [17] Barati, M., Bakhtiari, F., Mowla, D., & Safarzadeh, S. "Comparison of the effects of poultry manure and its biochar on barley growth in petroleum-contaminated soils". *International Journal of Phytoremediation*, 98-103. 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337069>
- [18] Xie, H., Liu, R., Xu, Y., Liu, X., Sun, F., Ma, Y., & Wang, Y. "Effect of In Situ Bioremediation of Soil Contaminated with DDT and DDE by *Stenotrophomonas* sp. Strain DXZ9 and Ryegrass on Soil Microorganism". *Microbiology Research*, 13(1), 64-86. 2022. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13010005>
- [19] Stella, O., Nwogo, O., Ephraim, N., Benneth, E., Robert, I., & Jeff, N. "Effects of organic manures bioremediation on growth performance of Maize (*Zea mays* L.) in crude oil polluted soil. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture". 2021. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1899855.1073>
- [20] Esteban Nieto, N. T. "Tipos de investigación". *CORE*, (1). 2018. [oai:repositorio.unisdg.edu.pe:USDG/34](https://oai.repositorio.unisdg.edu.pe:USDG/34)
- [21] Samaniego, G. "Enfoque, tipo, diseño y método de investigación". *Mi asesor de tesis*. 2022. https://miasesorde tesis.com/enfoque-tipo-diseño-metodo-de-investigación/#Enfoque_cuantitativo
- [22] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. "Metodología de la Investigación". *Mc Graw Hill Education*. 2014. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- [23] Ministerio del Ambiente. "Guía para el muestreo de suelos". Ministerio del Ambiente. 2014. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- [24] Kingsley, A., & Ebere, O. "Response surface optimization and effects of agricultural wastes on total petroleum hydrocarbon degradation". *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4). 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.009>
- [25] Dupuis, I. "Guía para la intervención de los residuos agrarios". Sociedad Agrícola del campo. *La candelaria*. ISBN 978-84-691-0126-1, 35-90. 2008.
- [26] Cervantes Vázquez, T. J. A., Preciado Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Valenzuela García, A. A., García Hernández, J. L., & Cervantes Vázquez, M. G. "Efectos en el suelo por la aplicación de estiércol bovino y vermicompost, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*)". 2022. *Terra Latinoamericana*, 40(835). <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.835>
- [27] Córdova Procel, J., Vargas Guambo, B., Naranjo Vargas, E., & Vega Cortés, P. "Obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy". *Perfiles*, 1 (28), 29-35. 2022. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.181>
- [28] Bao, J., Yuanfei, L., Chenchen, L., Shuangxi, L., Zhihong, Y., Yunjiang, Y., & Liandong Z. "Performance evaluation of rhamnolipids addition for the biodegradation and bioutilization of petroleum pollutants during the composting of organic wastes with waste heavy oil". *iScience*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104403>
- [29] García Rivera, B. R., Rodríguez Urrutia, E. A., Arias de Linares, A. Y., Barrera de Calderón, M. L., & Kearney, S. P. "Evaluación de propiedades físicas, químicas e hidrológicas en suelos manejados con maíz (*Zea mays*) y cinco programas de fertilización, La Montañona, Chalatenango, El Salvador". *Revista Minerva*, 3(2), 60-73. 2022. <https://lamjol.info/index.php/revminerva/article/view/12559/14575>
- [30] Alva, W., Obregón, R., & Ruiz, S. "Efecto del estiércol de cuy en el cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana*) en suelos degradados". *Investigación y Amazonía*, 7(4), 10-13. 2017. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/140123>
- [31] Ruley, J. A., Tumuhairwe, J. B., Amoding, A., Westengen, O. T., & Vinje, H. "Rhizobacterial communities of phytoremediation plant species in petroleum hydrocarbon contaminated soils of the Sudd ecosystem, South Sudan". *International Journal of Microbiology*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6639118>