

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“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”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Alexandra Anahi Cruzado Chicoma
Lourdes Aracelly Leon Muñoz

Asesor:

Mg. Grant Ilich Llaque Fernández
<https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Ms. C. Jessica Marleny Lujan Rojas
<https://orcid.org/0000-0001-8781-4231>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ing. Wilberto Effio Quezada	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. Kelly Polo Herrera	41297911
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. Margeo Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedicamos nuestra tesis principalmente a nuestro padre Dios, por permitirnos perseverar y no desistir en cada paso, por llenarnos de fortaleza frente a cualquier adversidad. A nuestros padres, por confiar en nosotras y fomentarnos el deseo de superación. A nuestros hermanos, que con esfuerzo todo es posible, que así como nosotras pueden seguir avanzando con sus metas propuestas

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios, sobre todas las cosas, por seguir bendiciendonos y acompañándonos en cada paso.

A nuestros padres por su apoyo en todo momento, y brindarnos la oportunidad de terminar con nuestros estudios, damos gracias a nuestros estudios.

A nuestra familia, por motivarnos con casos de superación.

A todos ellos, gracias por creer en nosotras.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos	28
1.4. Hipótesis	29
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS	39
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	59
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación de los puntos de muestreo	35
Tabla 2.	Dosificación de insumos por tratamiento	36
Tabla 3.	Variación promedio del efecto de humus de Eisenia foetida en la remediación de suelos contaminados usando Zea mays como indicador en la ciudad de Piura, 2021.....	40
Tabla 4.	Análisis de varianza ANOVA del % de TPH de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.....	42
Tabla 5.	Contraste múltiple de medias para el % de TPH de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.	42
Tabla 6.	Análisis de varianza ANOVA de la altura promedio de planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.....	44
Tabla 7.	Contraste múltiple de media para la altura real de planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.....	45
Tabla 8.	Análisis de varianza ANOVA del número de hoja promedio de la planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.	45
Tabla 9.	Contraste múltiple de media para el número de hoja de los tres tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos,	

siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.....	46
Tabla 10. Análisis de varianza ANOVA del peso promedio de planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.....	47
Tabla 11. Contraste múltiple de medias para el peso de planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.....	47
Tabla 12. Análisis de varianza ANOVA de la longitud de raíz promedio de las plantas de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.....	48
Tabla 13. Contraste múltiple de medias para la longitud de raíz de la planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.....	48
Tabla 14. Análisis de varianza ANOVA de la altura promedio de las plantas de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra.....	51
Tabla 15. Contraste múltiple de medias para la variación de la altura de planta por días (0, 10, 20 y 30 días) de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis del diseño de investigación.....	31
Figura 2. Puntos de muestreo de suelo contaminado por hidrocarburos	35
Figura 3. Variación de TPH promedio de los tratamientos con humus de Eisenia foetida.....	43
Figura 4. Desarrollo agronómico de la planta Zea Mays	43
Figura 5. Variación de la altura promedio de la planta Zea mays de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.....	45
Figura 6. Variación del número de hoja promedio de la planta Zea mays de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.....	46
Figura 7. Variación del peso promedio de la planta Zea mays de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.....	48
Figura 8. Variación de la longitud de raíz promedio de la planta Zea mays de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.....	50
Figura 9. Variación de la altura de la planta Zea mays por días (0, 10, 20 y 30 días) de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.....	52

Figura 10. Variación de la altura de planta Zea mays por periodos de crecimiento de los tratamientos de humus Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos 53

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea mays* como indicador, aplicándose el modelo estadístico de Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), con dos tratamientos patrón (uno en suelo contaminado y el otro en suelo agrícola) y tres tratamientos con tres repeticiones de 2.5 kg, 5 kg y 7.5 kg de humus, siendo un total de 11 macetas experimentales en un periodo de 30 días. Se consideró el análisis de laboratorio para evaluar el porcentaje de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) y el análisis visual, usando la planta de maíz *Zea mays* como bioindicador de contaminación. Se empleó el análisis de varianza ANOVA, la prueba de Duncan de Múltiples Rangos y comparación de media dentro de Statgraphic Centurion como herramienta de estadística para efectuar cada resultado. Los resultados mostraron que el efecto del humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos a los 30 días de aplicación mostró una respuesta estadísticamente significativa, disminuyendo la presencia de TPH (%), los valores menores por tratamiento fueron, 2.17% de TPH obteniendo en el suelo en el tratamiento con 2.5 kg de humus (disminuyendo un 0.89% en la primera repetición) y 2.24% de TPH en el tratamiento con 5 kg de humus (disminuyendo un 0.82% en la primera repetición) y 2.06% de TPH en el tratamiento con 7.5 kg de humus (disminuyendo un 1% en la tercera repetición).

PALABRAS CLAVES: Humus de *Eisenia foetida*, Hidrocarburos, Suelo, contaminación, *Zea mays*.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los problemas ambientales siguen perennes a pesar del transcurso de los años, siendo la contaminación de nuestros recursos naturales fundamentales una de las principales causas con las que carga nuestro planeta, siendo la afectación de la salud del suelo uno de los temas más alarmantes, puesto que, la contaminación del suelo con frecuencia no puede ser evaluada directamente por percepción visual, por ende, representa un peligro oculto para la salud (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO],(2019)

Debido a la necesidad energética, el mundo moderno ha determinado el uso intensivo del petróleo y sus derivados como su principal fuente de energía, esto ha impulsado a las industrias petroleras a un aumento de extracción de petróleo, apareciendo con ello crecientes fuentes de contaminación. Debido a las operaciones de explotación, extracción y transporte los materiales, siendo provocados los impactos ambientales más frecuentes por filtraciones accidentales, causando con ello una liberación del petróleo en el medio ambiente (Velásquez, 2017), la contaminación ambiental por derrames de petróleo se da en todos los países productores de hidrocarburos y es considerada una de las contaminaciones más severas en los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos.

En Ecuador las actividades petroleras son consideradas como acciones de alto riesgo ambiental debido a que existe la contaminación de agua y suelo, por lo que es necesario adoptar medidas para su adecuado manejo. Como consecuencia de la problemática ambiental, el sector petrolero debe tomar conciencia de la necesidad de modificar sus procesos con el objetivo de reducir el uso de recursos naturales y disminuir la contaminación de estos. Uno de los métodos más utilizados para contrarrestar esto, especialmente en suelos, es el biológico, debido a que constituye una de las técnicas más eficaces y

económicas. Los suelos contaminados con hidrocarburos pueden ser degradados fácilmente por la acción de microorganismos en condiciones adecuadas de oxígeno, nutrientes, temperatura, humedad y pH (Cabrera & Montenegro, 2014).

En Colombia se revisan los procesos de Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, como una alternativa sostenible frente al deterioro progresivo de la calidad del medio ambiente por el derrame de hidrocarburos. En la legislación ambiental en Colombia y en el mundo, todo residuo contaminado con hidrocarburos es considerado un residuo peligroso; por lo tanto, no puede ser dispuesto en suelo, aguas o incinerado a cielo abierto (Trujillo & Ramírez, 2012).

En México uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación por hidrocarburos en suelos y ecosistemas acuáticos. Particularmente en el periodo 2000 – 2013, el estado de Tabasco ocupó el segundo lugar en derrames de hidrocarburos confirmados (30 %) y primer lugar en derrames no confirmados (50 %), entre los que se identifican sitios recién contaminados (< 1 mes) y suelos intemperizados con un largo historial de contaminación. En suelos tropicales contaminados de la región, se ha determinado una alta mineralización aeróbica, así como una elevada actividad de enzimas como deshidrogenasa y lipasa, lo cual es considerado como una evidencia de actividad y presencia de poblaciones nativas degradadoras, en respuesta a la presencia de hidrocarburos (Ortíz, Escalante, Fócil, Ramírez, & Díaz, 2016).

En el Perú existen refinerías de petróleo que producen compuestos derivados que son producidos y transportados para su uso en diferentes actividades industriales, y a pesar del cuidado que puede tenerse en su manejo y almacenamiento, existe la posibilidad de que estos compuestos ingresen al suelo en cantidades que superen el cinco por ciento que es el nivel establecido por el Ministerio de Energía y Minas. En el país, no existe información

estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo, a pesar de la álgida tarea del Ministerio de Energía y Minas. Este es un problema muy importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso y evitar la contaminación de las aguas subterráneas (Hildebrando, 2012).

La Refinería Talara- se encuentra ubicada en Talara, región Piura – Perú, la cual es una sede de Petróleos del Perú – Petroperú S.A. donde se desarrolla el proceso de refinación de crudo para su posterior comercialización, dentro de sus actividades y operaciones, son frecuentes los incidentes como derrames en el suelo, el cual comúnmente es retirado y trasladado con destino final al relleno de seguridad Milla Seis donde es confinado como residuo peligroso. La investigación fue de relevancia social ya que los incidentes ambientales de derrames de hidrocarburos en los suelos afectan a población aledaña al área dañada, por ende, es de gran relevancia mitigar la problemática que conlleva una situación como tal por ser de interés local y nacional.

La investigación, pertenece a la línea de investigación Desarrollo sostenible y Gestión Empresarial, así mismo a la sub línea Remediación Ambiental, puesto que la biorremediación está considerada como la alternativa más aplicable para la recuperación de suelos contaminados con petróleo y entre sus variantes la bioaumentación y la bioestimulación han sido ampliamente estudiadas (Marín, 2016), cabe mencionar, que a partir del análisis de la sub línea se ha identificado como variable dependiente a los suelos contaminados por hidrocarburos y como variable independiente el humus de *Eisenia foetida*, siendo un vermicompost que actúa como acondicionador del suelo y fertilizante rico en nutrientes, aprovechado en gran escala para degradar suelos contaminados por hidrocarburos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea mays* como indicador, en la ciudad Piura, 2021?

Para el desarrollo de la investigación se tomó como base diferentes antecedentes referentes al uso del humus de *Eisenia foetida*, los cuales permitieron orientar el tema de estudio, así Martínez *et al.* (2014) en su artículo científico, evaluó el uso del humus de lombriz como acondicionador orgánico en la biorremediación de suelos contaminados con rípios de perforación base aceite mineral, e impregnados con crudo pesado, utilizó diferentes dosis de humus de lombriz (8, 12 y 16% p/p), donde en el tercero, cuarto y quinto tratamiento fueron para evaluar la biorremediación usando el humus de lombriz. Los resultados mostraron lamentablemente que el humus de lombriz no produjo una mejora significativa.

Salinas *et al.* (2014) en su tesis evaluó la calidad química del humus producido por la lombriz roja californiana elaborado a partir de cuatro compost preparados con diferentes desechos orgánicos, realizó 4 tratamientos con diferentes sustratos (compost), 4 kg de compost con 100 individuos de *Eisenia foetida* y un tratamiento 0 (suelo al 100%), en un periodo de tres meses. Los resultados lo analizaron estadísticamente y se compararon las medias con la prueba de rango múltiple de Tukey. Concluyó que el humus obtenido en T4 (mezcla de herbáceas y leñosas) presentó como reducción del 51,32% y 50 %, en conductividad eléctrica, reducción del 50% de la acidez, por ende, los sustratos evaluados fueron óptimos para el crecimiento y desarrollo de *E. foetida*, valorando su potencial frente al cultivo.

Marín (2016) en su tesis se basó en el uso del extracto como bioestimulador en un suelo contaminado con petróleo liviano, donde utilizó la planta de maíz como bioindicador

de la calidad del suelo. Esta investigación constó de dos etapas, una para obtener el volumen mínimo de petróleo letal para el cultivo y la segunda de remediación. Realizaron 3 tratamientos, al finalizar el último proceso plantaron 15 semillas por tratamiento y 15 en un suelo sin contaminar, usado como muestra patrón, para luego medir la altura de planta cada 15 días en un total de 35 días. Los resultados mostraron que el desarrollo de las plantas es igual en todas las muestras incluida la de suelo sin contaminar, iguales hasta los 20 días, corroborando la efectividad de la remediación basándose en el crecimiento de la planta de maíz.

Flores (2014) en su tesis evaluó la efectividad del humus de lombriz sobre las propiedades del suelo y variables productivas en los cultivos de maíz y chile. Estableció 3 experimentos, uno en cultivo de maíz en 4T (0, 10, 20 y 30 ton/ha) 3R en diseño de bloques, el segundo en el cultivo de chile completamente al azar en 4R y el tercero en invernadero con cultivo de maíz, diseño completamente al azar con cuatro repeticiones dos tipos de suelo (cultivado y no cultivado), usando al maíz como planta indicadora, la primera medición se hizo a los 21 días después de la siembra. Luego cada 7 días, total 65 días. Los resultados sugieren que la aplicación del humus de lombriz al suelo tiene un efecto positivo en sus propiedades fisicoquímicas, este describe cómo el humus de lombriz tiene una respuesta positiva en el crecimiento de la planta.

Hernández *et al.* (2019) en su artículo científico evaluó la respuesta del maíz cultivado en un suelo contaminado con hidrocarburos totales del petróleo previo y tras un proceso de biorremediación en biopilas con diferentes sustratos alternativos. El trabajo consistió en aplicar ocho tratamientos, donde seis fueron texturizantes, otro como tratamiento control y el octavo testigo, previo a la biorremediación sembraron 7 plantas de maíz por tratamiento, durante el desarrollo fenológico del cultivo indicador se cuantificó la

germinación, altura de las plantas cada siete días y observaciones visuales. Los resultados fueron que se reafirmó que las altas concentraciones de hidrocarburos limitan y/o alteran la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas.

Buendía (2012), en su tesis descartó la disminución de Hidrocarburos Totales de Petróleo de un suelo de la Refinería la Pampilla, distrito de Ventanilla, provincia del Callao. Aplicó el modelo estadístico de diseño completamente al azar), realizó doce tratamientos con tres repeticiones, dosificando cada uno con 700 gr de suelo contaminado más diferentes sustratos, completando 1kg por cada maceta, para el bioensayo consideró un testigo (puro suelo contaminado), los tratamientos fueron controlados por un periodo de dos meses con la planta indicadora *Zea mays*, 5 semillas por maceta. Los resultados demuestran que la planta de maíz es un buen indicador para evaluar la reducción de la concentración de hidrocarburos en los suelos contaminados a través de sus variables la altura de la planta, peso seco foliar y peso seco radicular.

Velázquez (2019) en su tesis doctoral determinó la eficacia del humus de lombriz roja californiana como abono orgánico para la mejora de un suelo degradado y su verificación en el cultivo de rabanito. Utilizó el diseño completamente al azar, realizó 4 tratamientos con 3 repeticiones incluido el testigo, la aplicación del humus de lombriz en el suelo degradado fue con unas dosis de 0, 1.5, 3 y 4.5 kg por tratamiento por un periodo de 1 mes, se empleó el sembrado de rabanito para verificar la mejora del suelo. Los resultados mostraron que el humus de lombriz tiene un valor significativo como abono orgánico y que al ser aplicado a un suelo degradado es capaz de mejorarlo en sus aspectos físicos, químicos y biológicos.

Laricano (2018) en su tesis doctoral analizó los niveles de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg) aplicando la tecnología de la vermicomposta en

relación con diferentes concentraciones y tiempo de aplicación. Realizó tres tratamientos con tres repeticiones, 10 kg de suelo contaminado para cada uno con 100, 200, 300 lombrices y ½, 1, 1 ½ kg de estiércol respectivamente a 15, 30 y 45 días de proceso de tratamiento pertenecientes a las repeticiones por tratamiento, el análisis de mercurio se realizó por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados reflejan que a mayor concentración de vermicomposta (kg) y tiempo de aplicación (días) existe una mayor disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg).

Dávila y Vílchez (2019) en su tesis doctoral evaluó la utilización de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) para la reducción de la concentración de DDT (dicloro difenil tricloroetano) en suelos del Centro Poblado las Malvinas, Moyobamba, 2019. La investigación fue de diseño preexperimental, realizó tres tratamientos teniendo cada tratamiento 3 réplicas, usó diversas concentraciones de lombrices (5Kg, 10Kg y 15Kg). La reducción de la concentración de DDT lo midió en diversos tiempos (10, 20, y 30 días). Los resultados confirman la investigación de Laricano (2018) que a mayor concentración y tiempo existe mayor reducción del contaminante, en este caso fue de DDT en suelos se dio en la aplicación de 15 Kg de lombriz de tierra con una reducción de 0,626mg/kg DDT en un tiempo de 30 días.

Rodríguez (2018) en su tesis doctoral determinó el efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminados con crudo de petróleo, en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali. Aplicó el diseño completamente al azar, 4 tratamientos con tres repeticiones por cada uno, un total de 12 celdas experimentales con 200 kg de suelo, contaminó cada celda experimental con 4 lt de crudo de petróleo, para luego aplicar al T2, T3 y T4 diferentes dosis de humus de lombriz 10, 20, y 30 kg respectivamente en un intervalo de dos y 4 meses realizó el análisis del suelo de TPH (C9-C40) en laboratorio. Los resultados

fueron comparados con el T1 mostrando que el mayor índice de disminución de TPH presente en el suelo, fue el T3 con 20 kg de humus.

Cárdenas (2017) en su tesis evaluó la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo por la bioestimulación con Cachaza y Guano de Islas en suelos procedentes de la Refinería Conchán – Petroperú. Realizó 3 tratamientos y un tratamiento testigo, con 25 kg de suelo contaminado en c/u y sustratos en diferentes dosis, realizó análisis en laboratorio y análisis visuales según la caracterización morfológica de la especie indicadora *Zea mays* siendo la altura de raíz, altura de tallo, altura de hoja, color de tallo y hoja, número de hojas y materia seca foliar y radicular a los 30 días. Los resultados demostraron la eficiencia del uso del *Zea mays* como especie indicadora de contaminación.

Vivanco (2013) en su tesis determinó la degradación del petróleo de suelos contaminados con Borra de la Refinería de Talara utilizando microorganismos autóctonos y compost. Realizó dos tratamientos, uno con el primer ensayo con 1kg de suelo contaminado y el segundo con 3 kg, con cada uno hizo tres ensayos, ensayo I de suelo contaminado con Borra más compost madura, ensayo II suelo contaminado con compost y consorcio microbiano y ensayo III de suelo contaminado con consorcio microbiano. Los resultados muestran que el ensayo I presentó mayor porcentaje de degradación de TPH, comprobando que el compost es un método efectivo para la degradación de TPH.

Taipe *et al.* (2020) en su tesis evaluó la eficiencia de remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) Fracción F2 y F3 mediante el uso del *Zea mays* (maíz) y compost como tratamiento, la muestra extraída en Talara, presentó una concentración inicial de 34,131 mg/kg y 52,050 mg/kg de TPH fracción F2 y F3 respectivamente, el experimento se desarrolló en 90 días y se realizó en macetas aplicando cuatro tratamientos (M1, M2, M3, M4) y cada uno con tres repeticiones, variando las concentraciones de compost M1: 0%

(w/w), M2: 40% (w/w), M3: 50% (w/w) y M4: 60% (w/w). El tratamiento en conjunto de *Zea mays* (maíz) y el compost con una concentración al 60% (w/w) permitió lograr mayor eficiencia de remoción de TPH fracción F2 y F3 en suelos contaminados.

Tamayo (2016) en la Tesis “Efecto del compost de cáscara de Citrus Limón sobre la degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo en suelos Contaminados provenientes de Refinería Talara”, en este trabajo se preparó compost a partir de la cáscara del limón y se aplicó en dos concentraciones diferentes (100 g compost / Kg de suelo contaminado y 200 g compost/Kg de suelo contaminado) con tres repeticiones cada una, en dos tiempos diferentes (25 días y 50 días) esto se mezcló con 1 Kg de suelo contaminado con una concentración 125’899.60 ppm obtenidos de la Refinería de Talara, aparte se cuenta con un control para evaluación. Los resultados obtenidos mostraron una remoción de 45.26 % de TPH aplicando 200 g de compost por un periodo de 50 días.

Los estudios descritos líneas arriba, permiten precisar que es factible utilizar el humus de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*) para descontaminar suelos con hidrocarburo, y que una de las medidas que ayudan mitigar el problema ambiental es utilizando métodos que sean amigables con el medio ambiente y de bajo costo. La selección del humus de lombriz se debe a su alto contenido de materia orgánica que puede mejorar las características físicas y químicas de los suelos contaminados, siendo capaz de mejorar la calidad y de remediar suelos contaminados con hidrocarburos. Los combustibles fósiles generan un mayor deterioro de la zona explotada en comparación con la utilización de energías alternativas, por esta razón este proyecto busca utilizar humus de lombriz con la capacidad de degradar los hidrocarburos.

El suelo es la capa superficial que cubre la corteza terrestre, se caracteriza por tener un grosor variable y escaso, generalmente de unos cuantos centímetros a pocos metros;

cumple la función de ser la interfase entre litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera, manteniendo intercambios energéticos y materiales entre ellas. La estructura de un suelo es la disposición y organización de las diferentes partículas de este, esta constituye una propiedad cualitativa y depende de la porosidad total de un volumen de suelo, de la forma de cada poro y de la distribución global de los tamaños de los poros (Bucka, Felde, Peth, & Kögel, 2021).

La meteorización química y mecánica de las rocas y la influencia de ciertos procesos microbiológicos producen el suelo, está controlada esencialmente por la energía solar, la topografía y propiedades intrínsecas de las rocas (permeabilidad, alterabilidad). Después de un largo periodo de meteorización, con condiciones climáticas estables, el suelo puede alcanzar su equilibrio, este llega a romperse si parámetros del sistema varía y por la interacción con el hombre, debido a su uso (agricultura, industria, minería, ganadería, etc.), denominada degradación (Zhang, Zhang, Dong, & Zhang, 2020).

El petróleo es un combustible natural compuesto de varios tipos de hidrocarburos, es decir, de moléculas que contienen básicamente carbono e hidrógeno. Estas moléculas pueden estar formadas de cadenas de átomos de carbono largas o cortas y que pueden adoptar diferentes estructuras (Gonzalez, y otros, 2019).

Los Hidrocarburos son compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno (Sermanat, 2003). Los hidrocarburos biogénicos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo el microbiota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores. La síntesis de este tipo de hidrocarburos está controlada por rutas metabólicas, lo cual trae como resultado mezclas de compuestos de limitada complejidad estructural relacionada directamente con la función biológica específica (Kuangnan, 2021).

Por otra parte, los hidrocarburos antropogénicos son aquellos que son introducidos como resultado de cualquier tipo de actividad humana, uno de los principales está dado por los procesos de combustión industrial de carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (Ławniczak, Woźniak, Loibner, Heipieper, & Chrzanowski, 2020).

Las técnicas de recuperación para suelos con presencia de hidrocarburos son diversas, pero no todas pueden ser utilizadas para eliminar los hidrocarburos del suelo debido a la naturaleza, entre ellas tenemos la extracción de hidrocarburos por vacío, el lavado del suelo contaminado con agua, la incineración, la recuperación electrocinética, etc (Pasciucco, Pecorini, Gregorio, Pilato, & Iannelli, 2021).

Con algunas de estas técnicas se han conseguido efectos positivos, pero su elevado coste económico junto con el hecho de que no se consideran totalmente respetuosas con el medioambiente constituye hoy en día un obstáculo en su aplicación. Por ello, se ha planteado la posibilidad de buscar alternativas viables para la eliminación de los hidrocarburos contenidos en los suelos que sean ambientalmente correctas, simples y económicas. Aparecen así las técnicas de biorrecuperación que son las que nos ocupan en este trabajo. Dependiendo de cuál sea el propósito que se quiere alcanzar a la hora de recuperar un suelo contaminado, se pueden distinguir entre técnicas de contención, de confinamiento y de descontaminación (Dhaka & Chattopadhyay, 2021).

Asimismo, en función del tipo de tratamiento que se le dé al suelo, las técnicas de degradación de hidrocarburos se pueden agrupar en físicas, químicas y biológicas.

La biorremediación es una técnica que emplea el uso de microorganismos autóctonos o exógenos como plantas, hongos, algas, bacterias entre otros, con potenciales metabólicos

capaces de neutralizar materiales tóxicos de un determinado ambiente contaminado y transformarlos en menos tóxicos, capaces de eliminarlos por técnicas más factibles, es una técnica que incrementa las condiciones aeróbicas de la biorremediación, el cual es un proceso natural propio del suelo (Dhaka & Chattopadhyay, 2021).

Las tecnologías enfocadas a la remediación de suelos se han desarrollado para dos tipos. Es así como esta técnica se puede llevar a cabo In-Situ, es decir, tratando el suelo en el sitio afectado por la contaminación (Yadav, y otros, 2022). Mientras que el tratamiento Ex-Situ, requiere de la realización de excavación del suelo desde el lugar contaminado, para posteriormente darle tratamiento en un área externa a la zona afectada (Hussain, y otros, 2022).

En la actualidad, hay un interés creciente por este tipo de técnicas ya que son más sencillas, económicas y respetuosas con el medio ambiente que aquellas en las que los contaminantes son simplemente extraídos y transportados a otros lugares. Sin embargo, la eficacia de estas técnicas biológicas está todavía por comprobar puesto que aquellas que son efectivas en un lugar determinado con un contaminante concreto, no lo son en otro lugar con otro contaminante u otras condiciones. En cualquier caso, un factor limitante es el escaso conocimiento que existe acerca del comportamiento de las comunidades microbianas de los suelos contaminados, aunque en este sentido se están incorporando a estos estudios los avances técnicos, en genómica, proteómica y metabolómica, que están revolucionando el estudio de la microbiología ambiental aplicada a procesos de biorremediación de suelos (Dhaka & Chattopadhyay, 2021).

Las técnicas de biorremediación consisten en el uso de plantas o microorganismos como hongos, bacterias naturales y bacterias modificadas genéticamente, para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en

inocuas para el ambiente y la salud humana (Ghosh, Sharma, Nath, & Webster, 2021). Bajo condiciones favorables, los microorganismos pueden oxidar los contaminantes orgánicos y transformarlos en productos no tóxicos como dióxido de carbono y agua o ácidos orgánicos y metano (Yadav, y otros, 2022). Las técnicas de biorremediación constituyen una tecnología en clara expansión y muy competitiva, capaz de conseguir la biodegradación de los hidrocarburos contenidos en el suelo (Patel, y otros, 2022 ; (Yadav, y otros, 2022).

La biorremediación es una técnica relativamente innovadora que se ha desarrollado en las décadas de los 80 y 90, y ha sido aplicada con éxito en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, caracterizándose por ser una técnica de bajo costo de operación (Dhaka & Chattopadhyay, 2021). Sin embargo, la biorremediación no siempre permite alcanzar los rangos de descontaminación deseados, su aplicación ha encontrado cierta resistencia debido al tiempo para completar un proceso hasta conseguir las metas deseadas. Es una técnica que no siempre es efectiva, porque el rango de contaminante en el que puede ser eficaz es limitado (Rajendran, y otros, 2022). La biorremediación tiene como principio la mejora de un proceso natural, y esto puede ocurrir mediante dos técnicas distintas:

La bioaumentación, consiste en la inoculación de microorganismos capaces de actuar específicamente en determinados ambientes contaminados (Dhaka & Chattopadhyay, 2021) existen un gran número de especies de microorganismos, entre ellos están las que se deben de encargar de la degradación de los hidrocarburos. Sin embargo, a veces su cantidad no es lo suficientemente elevada como para que actúen de un modo eficaz, y en ese caso, las inoculaciones de microorganismos pueden ser útiles para descontaminar un ambiente determinado (Yadav, y otros, 2022).

La biorremediación en presencia de aire u oxígeno es denominada biorremediación aeróbica y se basa en procesos oxidativos, que oxidan parcialmente los contaminantes convirtiéndolos en productos menos tóxicos, o son totalmente oxidados en constituyentes minerales (dióxido de carbono y agua). Bajo condiciones anaerobias, los procesos de biorremediación son más complejos (Dhaka & Chattopadhyay, 2021).

La biorremediación aerobia es más rápida que la anaerobia, por ese motivo normalmente es la opción preferida (Dhaka & Chattopadhyay, 2021). Sin embargo, algunos compuestos únicamente pueden ser metabolizados bajo condiciones reductoras y, por tanto, los tratamientos anaerobios son la única opción. Cabe señalar que una concentración de contaminantes muy elevada puede resultar tóxica para los microorganismos e inhibir así su actividad. En algunos lugares con una pesada contaminación, la biorremediación puede no ser la mejor opción. Por lo tanto, se hace necesaria antes de la ejecución, una investigación de factibilidad con el fin de determinar si la biodegradación es una opción viable para un sitio específico, tipo de suelo y condiciones del contaminante (Yadav, y otros, 2022).

Géneros de las bacterias utilizadas para la biorremediación de hidrocarburos *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Beneckea*, *Brevibacterium*, *Coryneformes*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Lactobacillus*, *Leumthrix*, *Moraxella*, *Nocardia*, *Peptococcus*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Spherotilus*, *Spirillum*, *Streptomyces*, *Vibrio*, *Xanthomyces* (Rodríguez, Zárata, & Bastida, 2022).

La importancia de agregar humus de lombriz en un proceso de biorremediación de suelos contaminados donde actúa como acondicionador de suelos para facilitar la extracción del contaminante. El vermicompost se lo conoce también como humus de lombriz, siendo el primero su nombre técnico, consiste en la crianza de lombrices de manera intensiva, es un método que combina la composta natural con la utilización de lombrices, y es conocido como

lombricultura, que se define como “el uso de la lombriz de tierra para la descomposición de los desechos orgánicos generando un producto denominado vermicompost o humus de lombriz”, es una alternativa ecológica que se la utiliza desde hace pocos años como opción para la solución de problemas ecológicos (Chilon, 2013).

El humus de lombriz es un proceso que involucra la adición de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) que aceleran la conversión de los residuos orgánicos; estimulando los procesos de mineralización y humificación, obteniendo un producto final estable y maduro (Cardona, y otros, 2021). Así mismo el resultado de la digestión de materia orgánica (compost, estiércol descompuesto, vegetales, etc.) por las lombrices, obteniéndose uno de los abonos orgánicos de mejor calidad. Se puede producir desde el nivel del mar hasta los 3800 m.s.n.m. (Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social [MIDIS], (2014)). El humus aporta nutrientes al suelo (Nitrógeno, Fósforo, Potasio), mejora su calidad física, química y biológica. Debido a su color oscuro, el humus, contribuye a la absorción de calor por el suelo y neutraliza los contaminantes, lo cual favorece la ecología al reducir problemas de contaminación (MIDIS, 2014).

Por consiguiente, se puede considerar que la biorremediación es una tecnología óptima para la recuperación de suelos impactados, su uso cada vez es tema de mayor investigación y aplicación en el Perú y diferentes partes del mundo, tal es el caso de la aplicación de especies vegetales, en su mayoría son nativas las que son usadas como especies reductoras de la concentración de hidrocarburos en suelos, debido a su tolerancia ante la presencia de contaminantes y a niveles bajos de contaminación, que tienen la capacidad de crecer y reducir las concentraciones de hidrocarburos y otros contaminantes. Algunas plantas pueden crecer en suelos con hidrocarburos de petróleo, pero que no presentan necesariamente un crecimiento y desarrollo adecuado, entre las que están el “maíz” *Zea*

mays. L. Las plantas que crecen en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo pueden reducir la concentración de estos contaminantes mediante tres mecanismos: degradación, contención o transferencia (Da Silva, Banat, Robl, & Giachini, 2022).

Kumar *et al.* (2021) Los productos finales de esta degradación dependen de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por ello, que los controles que se puedan ejercer siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos. Para ello se debe tener en cuenta las Bases Legales, como es la Ley General del Ambiente N° 28611 el 15 de octubre del 2005. En el artículo IX, del Principio de Responsabilidad Ambiental, menciona que “El causante de la degradación del ambiente y de sus componentes, sea una persona natural o jurídica, pública o privada, está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda o, cuando lo anterior no fuera posible, a compensar en términos ambientales los daños generados, sin perjuicio de otras responsabilidades administrativas, civiles o penales a que hubiera lugar” (Ministerio del Ambiente, 2005).

La Guía para Muestreo de Suelos, aprobada mediante el R.M. N° 085-2014-MINAM, el 9 de abril del 2014 (Ministerio del Ambiente, 2014). Esta guía es aplicable para el muestreo de suelos en proyectos y para sitios contaminados en los que la autoridad competente determine que no se cumplieron con los objetivos de remediación previstos en el instrumento de gestión ambiental. Establece el muestreo de identificación, de detalle, de nivel de fondo y de comprobación de la remediación. Asimismo, especifica los criterios para la determinación del número de muestras, así como medidas de calidad para la toma y el manejo de muestras de suelos.

La Guía para la Elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos, aprobada mediante el R.M. N° 085-2014-MINAM, el 9 de abril del 2014 (Ministerio del Ambiente, 2014). Esta guía establece lineamientos para la actuación de los titulares de actividades extractivas, productivas o de servicios responsables de la descontaminación de suelos contaminados, donde se evidencia que un sitio supera las concentraciones establecidas en el ECA-Suelo. El Plan de Descontaminación de suelos consta de tres fases, las cuales son: Fase de identificación (Previo a la elaboración del PDS), Fase de caracterización (Elaboración del PDS) y Fase de remediación.

El Estándar de Calidad Ambiental para Suelos (ECA-Suelo), fue aprobado mediante el D.S. N° 011-2017-MINAM para suelo Industrial y uso agrícola, el 02 de diciembre del 2017, los cuales se muestran en la Tabla 1 (MINAM, 2017) Los ECA para suelo se consideran un referente obligatorio para el diseño y aplicación de instrumentos ambientales y son aplicables para los parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicio.

Es importante conocer el uso de la técnica de biorremediación, a partir del humus de *Eisenia foetida*, que ayuden a la descontaminación de suelos con hidrocarburos con un proceso económicamente viable y que dentro de la amplia gama de tecnologías que tienen el potencial de llegar a la sostenibilidad, esta podría ocupar un lugar muy importante.

La presente investigación se justifica de manera teórica, ya que pretende extender la reducida información científica existente, por medio de la demostración del potencial del humus de *Eisenia foetida* que permiten la reducción de hidrocarburos en los suelos, como también la justificación práctica se basa en que los descubrimientos estarán disponibles para toda la comunidad científica, es de gran relevancia mencionar que actualmente existen distintas alternativas que tratan de resolver la problemática de los suelos contaminados con

hidrocarburos, una de ellas es la aplicación de humus de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), donde estudios anteriores muestran la disminución de otros metales pesados empleando humus de lombrices de tierra. Así mismo en la justificación social la presente investigación contribuirá a mejorar la calidad de suelos de Piura. Y por último la justificación metodológica está basada cuándo se podrá indicar la cantidad del humus de *Eisenia foetida* que se utilizará, además del tiempo óptimo para su mayor reducción.

1.3. Objetivos

1.1.1. Objetivos General

Evaluar el efecto de la 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.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las diferentes dosis de humus de *Eisenia Foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
- Determinar la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*.
- Evaluar la altura real de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos.

1.4. Hipótesis

Hipótesis alternativa (H1): La aplicación de humus de Eisenia foetida permite remediar un suelo contaminado por hidrocarburos.

Hipótesis nula (H0): La aplicación de humus de Eisenia foetida no permite remediar un suelo contaminado por hidrocarburos.

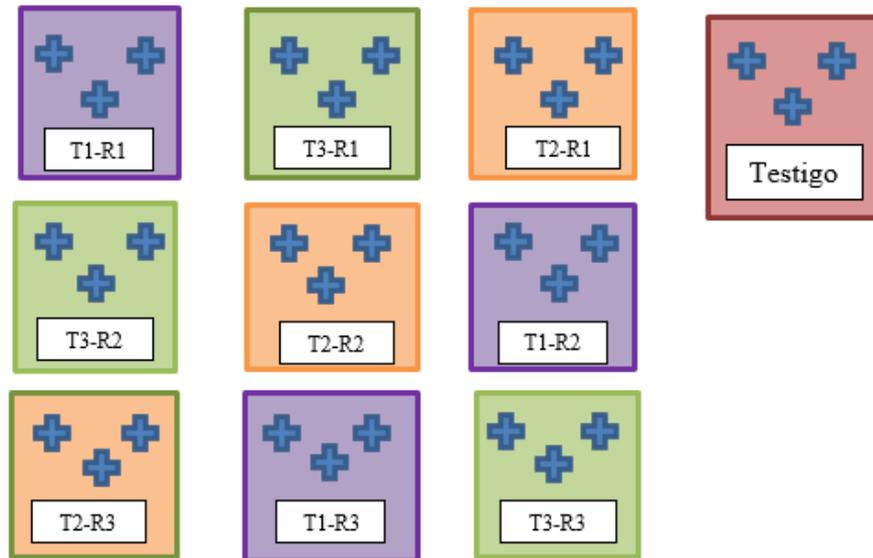
En los aspectos éticos se da constancia que el estudio es inédito, las fuentes empleadas han sido debidamente citadas y referenciadas, respetando el derecho de los autores. Los resultados encontrados fueron descritos fielmente, sin manipularlos o alterarlos. Asimismo, como parte del proceso de investigación se preservó y cuidó el medio ambiente y los recursos sin dañarlos o alterarlos.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación con respecto a su propósito pertenece a un estudio Aplicada, según su profundidad la investigación es experimental. Referente a la naturaleza de datos se consideró como enfoque cuantitativo. Según la intervención del investigador y la manipulación de la variable: Experimental, en el cual se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA). A continuación, se muestra el diseño de la investigación.

Figura 1.

Croquis del diseño de investigación



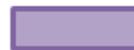
LEYENDA



Especie *Zea mays*. indicador de contaminación



Testigo S. A.: Suelo agrícola



Tratamiento 1: Suelo contaminado (5kg) + humus (2.5kg)



Tratamiento 2: Suelo contaminado (5kg) + humus (2.5kg)



Tratamiento 3: Suelo contaminado (5kg) + humus (2.5kg)

2.1. Población y muestra

La población según Mucha *et al.* (2021) se puede definir como el total de elementos de estudio, que comparten ciertas características. Esta investigación consideró una población finita de elementos o individuos, de las cuales se utilizarán como unidades de muestreo, la población estuvo constituida por dos elementos, el primero por los suelos contaminados con petróleo en la provincia de Piura y el segundo por el humus de *Eisenia foetida* de la provincia de Contumazá, Cajamarca.

Según Magdalena (2019) la muestra es un subconjunto o parte representativa de la población en que se realizará la investigación. con el fin de poder determinar la muestra se utilizó el método no probabilístico, no se basa en la estadística; sino de las características de la investigación y la toma de decisiones del investigador. La primera muestra fue de 50 kg de suelo extraído de los diferentes puntos abandonados por petróleo y la segunda muestra de 45 kilos del humus de *Eisenia foetida*.

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Una vez determinada la muestra, se procedió a establecer las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos que se emplearon en la investigación; según Ñaupas (2018) las técnicas de recolección de datos son un grupo de normas y procedimientos para ordenar un proceso para alcanzar un objetivo. Mientras que los instrumentos se pueden definir como el medio conceptual o tangible que permite recoger información.

2.2.1. Técnicas

Entre las técnicas utilizadas estuvieron la observación, según Escudero y Cortéz (2018) esta técnica usa el sentido de la vista para describir e identificar las causas de un problema, logra conocer la relación que existe entre sujeto – objeto, la cual permitió

conseguir datos de la condición de los tratamientos de suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de *Zea mays* cultivados con humus de *Eisenia foetida*, y las pruebas de laboratorio, la cual permitió realizar una caracterización a los suelos contaminados para lograr determinar el % de hidrocarburos y el % de remoción de hidrocarburos de cada uno de los tratamientos, todo ello en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo, donde el encargado utilizó el **método de extracción por flujo** con el equipo de extracción de SOXHLET.

2.2.2. Instrumentos

Se puede señalar que se tuvo como instrumento de recolección a la Ficha de recojo de datos, según Escudero y Cortéz (2018) es un instrumento con el cual se logra recoger información, de tal manera que permitió registrar los datos obtenidos en campo como el crecimiento o desarrollo de *Zea mayz* frente a cada uno de los tratamientos y los resultados de las pruebas de laboratorio, registrando cada resultado por dato (% de hidrocarburos y % de remoción) analizado.

Para determinar la validez y confiabilidad de los datos e instrumentos, se consideró la opinión y el visto bueno de expertos en el tema de la carrera profesional de ing. ambiental de la casa superior de estudios sede Trujillo, San isidro, también se tomó en cuenta un laboratorio con certificación de calidad, LASACI de la Universidad Nacional de Trujillo de la facultad Ingeniería Química, así mismo para la ficha de registro de campo se sometió la opinión de docentes expertos del tema de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte sede San Isidro.

2.2.3. Materiales

Los materiales empleados en el presente estudio fueron: una libreta de campo, un lapicero, wincha Stanley 50 metros, una pala Bellota, 5 sacos de plástico con capacidad de 50 kg, 11 macetas de plástico, balanza Clever 30 kg, regla de 15 cm, un GPS Garmin, una cámara Canon Eos, 40 semillas de Maíz (*Zea Mays*), 40 kg de suelo contaminado por hidrocarburo y 30.8 kg de humus de *Eisenia foetida*.

2.3. Procedimiento de análisis de datos

2.3.1. Evaluación de las diferentes dosis de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburo

Respecto a los procedimientos de la investigación, para la evaluación de las diferentes dosis de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos; inició con la etapa de muestreo de suelos contaminados con hidrocarburos, realizada en lugares donde se habían producido derrames por alguna fuga, se seleccionaron sectores contaminados por derrame de hidrocarburos, delimitándolo en 5 x 5m, donde se identificaron 5 puntos de muestreo, debido que el área contaminada tenía forma regular de un cuadrado, tomando cuatro muestras por pared y una en el fondo, un total de cinco puntos de muestreo, referenciados por medio de un GPS, tal como se muestra en la tabla 1, se recolectaron muestras de 10 kg por cada punto en sacos de plástico, el día 09 de abril del 2021, obtenidas de acuerdo a la guía del Ministerio del Ambiente en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013, ECA (MINAM, 2013).

La segunda etapa fue la recolección del insumo, en este caso el humus de *Eisenia foetida*, obtenido del proyecto “Lombricultura” de la Institución Educativa Nicolas Cedrón Camacho, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, esto se realizó el 09 de abril del 2021, recolectando un total de 30.8 kg de humus de *Eisenia foetida*, almacenado en un saco de plástico de 50 kg.

La tercera etapa fue la instalación de los tratamientos, realizada el 15 de abril del 2021, constó de 3 tratamientos con 3 repeticiones y 2 tratamientos testigo, cada uno con diferentes dosis de suelo contaminado con hidrocarburos y diferentes dosis de humus de *Eisenia foetida*, a diferencia de los tratamientos testigo (suelo totalmente contaminado por hidrocarburos TSC y suelo totalmente agrícola TSA), un total de 11 tratamientos evaluados en diferentes macetas; para la instalación se tuvo que hacer uso de macetas plásticas, una balanza digital y cucharas medidoras, la dosificación de cada tratamiento se muestra en la Tabla 2; estos tratamientos se dejaron actuar por 41 días, hasta el 25 de mayo del 2021.

Tabla 1.

Ubicación de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM			Hora de muestreo (horas)
	Zona	Este	Norte	
P1	17M	488836	9539873	17:12
P2	17M	488835	9539872	17:30
P3	17M	488833	9539870	17:48
P4	17M	488834	9539871	17:59

Nota. Esta tabla nos muestra de dónde y en qué tiempo han sido extraídas las muestras de suelo

Figura 2.

Puntos de muestreo de suelo contaminado por hidrocarburos



Tabla 2.

Dosificación de insumos por tratamiento

TRATAMIENTOS	COMBINACIONES				
	Suelo contaminado con hidrocarburos (kg)	Suelo agrícola (kg)	Humus de <i>Eisenia foetida</i> (kg)	N° DE PLANTA DE <i>Zea mays</i>	
T1	R1	5	0	2.5	3
	R2	5	0	2.5	3
	R3	5	0	2.5	3
T2	R1	5	0	5	3
	R2	5	0	5	3
	R3	5	0	5	3
T3	R1	5	0	7.5	3

R2	5	0	7.5	3
R3	5	0	7.5	3
TSC	5	0	0	3
TSA	0	5	0	3
TOTAL	50 kg	5 kg	45 kg	33

Nota. La dosificación del suelo con respecto a cada tratamiento fue el mismo, se tomó en cuenta TSC y TSA para analizar el desempeño de la planta frente a cada tratamiento, como una muestra control o patrón.

La cuarta etapa fue la recolección de las muestras post tratamiento, con ayuda de una cuchara medidora y una balanza electrónica se recolectaron 20 gr de suelo por cada maceta en bolsas de cierre hermético, un total de 10 muestras, sin contar el tratamiento testigo TSA ya que no era necesario porque no contaba con alteración por hidrocarburos. Por último, las muestras fueron rotuladas, indicando su codificación y el tipo de análisis para ser llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo de la facultad de Ingeniería Química para su debido análisis, para posteriormente evaluar las diferentes dosis de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, identificando así la dosis más eficiente, con la cual se obtiene una remoción alta de hidrocarburos.

2.3.2. Determinación de la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*

Para la determinación de la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*; inició con la etapa de la germinación de la especie *Zea mays*, aplicando la metodología de Flores (2018) con papel germinador, elegido por su capacidad de absorber humedad y mantener un suministro de humedad constante a las semillas; se verificó la limpieza y buen estado del papel de germinación, el cual fue utilizado como medio de

germinación, fueron colocadas 40 semillas en hileras entre dos capas de papel 20 x 10 cm, previamente humedecidas uniformemente con agua corriente, cubierto con otro papel humedecido de las mismas dimensiones, todo ello dentro de un envase sometido a oscuridad para evitar la pérdida del agua, esta etapa tuvo un periodo de 5 días, ya alcanzado el brote de sus raíces y tallos, se realizó la selección de las semillas germinadas que se encontraban en buenas condiciones, un total de 33 semillas seleccionadas.

La segunda etapa fue la siembra, realizada el 22 de abril, a los siete días de haber instalado los tratamientos, las semillas germinadas fueron sembradas en cada maceta/tratamiento haciendo uso de una pala pequeña para jardín, aplicando una siembra de 3 unidades de semilla de *Zea mays* germinada en cada uno de los tratamientos, incluido los tratamientos testigo (TSC y TSA), con una separación de 4 cm una de otra, con el fin de un óptimo crecimiento y desarrollo de las raíces.

La tercera etapa fueron los riegos, los riegos fueron periódicos, siguiendo la guía de Gómez (2022) realizados una vez a la semana con ayuda de una jarra medidora, ya que el maíz necesita 2,5 cm de agua a la semana, de acuerdo con la necesidad de los cultivos y manteniendo las macetas bajo capacidad de campo. No obstante, la aplicación de agroquímicos no fue necesaria debido a la ausencia de plagas y enfermedades significativas durante el ciclo del cultivo.

La cuarta etapa fue el retiro de las plantas, completado los 30 días a partir de la siembra, se retiraron las plantas de *Zea mays* por cada tratamiento, haciendo uso de guantes y una pala pequeña para jardín; posteriormente se realizó la selección de la planta de *Zea mays* que obtuvo mayor progreso por cada maceta o tratamiento, para luego pasar a la caracterización, visualizando el desempeño de la especie en cada tratamiento, donde se consideraron los aspectos: altura de planta haciendo uso de una regla medidora, peso de

planta haciendo uso de una balanza electrónica, número de raíces por medio de la observación y longitud de raíces haciendo uso de una regla medidora. Finalmente, los datos obtenidos pasaron por un análisis de varianza ANOVA y para comprobar la significancia un análisis estadístico la prueba de Duncan con el contraste múltiple de medias.

2.3.3. Evaluación de la altura real de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos

Para la evaluación de la altura real de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos, se empleó un cuaderno de campo para el registro de los datos, registrando el 22 de abril del 2021 los datos iniciales de altura de planta con el germinado de la semilla, el segundo monitoreo se realizó el 2 de mayo a los primeros diez días de la siembra, el tercer monitoreo fue el 12 de mayo a los 20 días de la siembra y por último monitoreo fue el día 22 de mayo a los 30 días de la siembra.

El recojo y procesamiento de datos fueron con el uso del programa estadístico Statgraphic Centurion XVIII, para la validación de la hipótesis de estudio (H1) al 95% y para seleccionar a los tratamientos con las mejores medias se usó la prueba múltiple de rangos de Duncan, con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0; el programa Microsoft Excel 2017 para contrastar los resultados mediante tablas comparativas y el análisis de los gráficos, se empleó el análisis de varianza ANOVA, la prueba de Duncan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras y la comparación de medias para determinar cuáles son los pares que presentan mayor diferencia significativa, dentro de Statgraphic Centurion XVIII como herramienta de estadística para efectuar cada resultado.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de la evaluación del efecto del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea Mays* como indicador.

3.1. Evaluación del efecto de la aplicación de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea Mays* como indicador.

En la siguiente tabla se presentan los tratamientos que se usaron para reducir los hidrocarburos en suelos, teniendo como indicador *Zea mays*, a su vez se evidencia los cambios morfológicos que dicha especie vegetal sufrió en su desarrollo. Cabe mencionar, que el nivel de eficiencia se incrementó de acuerdo a la concentración de humus de *Eisenia foetida* en el suelo contaminado.

Tabla 3.

Variación promedio del efecto de humus de Eisenia foetida en la remediación de suelos contaminados usando Zea mays como indicador en la ciudad de Piura, 2021.

Tratamientos (humus en kg)	TPH inicial (%)	TPH final (%)	Eficiencia (%)	Características de la planta
TSC	3.06	3.06	0	No presentó desarrollo del cultivo <i>Zea mays</i>
TSA	0	0	0	El cultivo <i>Zea mays</i> se logró desarrollar con normalidad debido a la ausencia de hidrocarburos, presentando una altura promedio de 75.5 cm, un desarrollo vegetativo con 7 hojas, 36.6 cm de longitud de raíz y 83.3 gr de peso de planta.
T1 (2.5)	3.06	2.62	14.379	Presentó el menor desarrollo vegetativo de <i>Zea mays</i> de todos los tratamientos, con una altura promedio de 57.9 cm, un desarrollo vegetativo con 6.4 hojas promedio, 26.6 cm de longitud de

				raíz promedio y 28.3 gr de peso de planta promedio.
T2 (5.0)	3.06	2.26	26.143	Presentó el mayor desarrollo vegetativo de <i>Zea mays</i> de todos los tratamientos, con una altura promedio de 67.26 cm, un desarrollo vegetativo con 7.8 hojas promedio, con 37.66 cm de longitud de raíz promedio y 38.83 gr de peso de planta promedio.
T3 (7.5)	3.06	2.09	31.699	Presentó un regular desarrollo vegetativo de <i>Zea mays</i> de todos los tratamientos, con una altura promedio de 61.93 cm, un desarrollo vegetativo con 7.3 hojas promedio, con 16.33 cm de longitud de raíz promedio y 42.2 gr de peso de planta promedio.

3.2. Evaluación de las diferentes dosis de humus de *Eisenia Foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos

Con respecto al primer objetivo específico, evaluar las diferentes dosis de humus de *Eisenia Foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, en la Tabla 4, se muestra el análisis de varianza de los suelos contaminados por hidrocarburos y los tratamientos de acuerdo a la dosificación de humus de *Eisenia foetida*., en la cual se puede observar que existe una diferencia significativa con un $p < 0.05$ a un nivel de confianza al 95%, para ello, se realizó un contraste múltiple de medias (Tabla 5) y de esta manera poder evidenciar los diferentes grupos homogéneos que existen. Así también, se realizó una representación gráfica (Figura 2), en la cual se puede apreciar que el T3 obtuvo la reducción mayor de TPH en su Repetición 3, a diferencia del T1, el cual representa la más baja reducción en su repetición 2.

Tabla 4.

Análisis de varianza ANOVA del % de TPH de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.

Fuentes de variabilidad	Suma de Cuadrados	de GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	0.929557	3	0.309852	5.90	0.0320
Error (ente muestras)	0.315333	6	0.0525556		
Total (Corr.)	1.24489	9			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó <0.05 para los tratamientos (T1, T2, T3 y TSC). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL = grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthatgraphic Centurio XVIII.

Tabla 5.

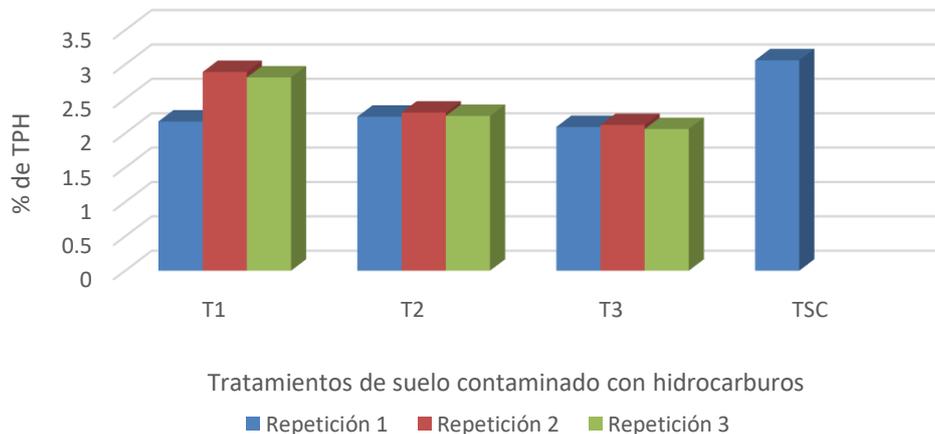
Contraste múltiple de medias para el % de TPH de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error $PE_1 0,05$.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	3	2.09	X
T2	3	2.26333	X
T1	3	2.62333	XX
TSC	1	3.06	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthatgraphic Centurio XVIII.

Figura 3.

Variación del % de TPH promedio de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.



Nota. Resultados del análisis de laboratorio, los tratamientos se describen en la Tabla 2, T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado.

3.3. Determinación de la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*.

De acuerdo, con el segundo objetivo específico, se realizó la determinación de la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*.

Figura 4.

*Desarrollo agronómico de la planta *Zea mays**



Las Tablas 6, 8, 10 y 12, muestran los análisis de varianza de los parámetros correspondientes a la respuesta agrónoma de las plantas de *Zea mays* y los tratamientos de acuerdo a la dosificación de humus de *Eisenia foetida*, en las cuales se puede observar que existe una diferencia significativa con un $p < 0.05$ a un nivel de confianza al 95% en cada uno, para ello, se realizó un contraste múltiple de medias (Tabla 7, 9, 11 y 13) para evidenciar los diferentes grupos homogéneos que existen. Así también, se realizó representaciones gráficas, *la respuesta de peso de planta (Figura 3)*, se puede apreciar que el tratamiento en suelo agrícola (TSA) tuvo mayor predominancia en altura real de planta, a diferencia del T1 con valores mínimos; *la respuesta de número de hojas (Figura 4)* del TSA son similares al desarrollo vegetativo del T1 y T3, a diferencia del T2; *la respuesta de peso de planta (Figura 5)* del T2 y T3 ocupan el segundo lugar en peso de planta, a diferencia del T1 en su repetición 3; *la respuesta de longitud de raíz (Figura 6)* del T3 obtuvo los valores más bajos en sus tres repeticiones y el T2 se registraron los valores más altos después del tratamiento TSA

A. Altura promedio de planta

Tabla 6.

Análisis de varianza ANOVA de la altura promedio de planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.

Fuentes de variabilidad	Suma de Cuadrados	de GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	3974.18	4	993.544	290.32	0.0000
Error (entre muestras)	20.5333	6	3.42222		
Total (Corr.)	3994.71	10			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó < 0.05 para los tratamientos (T1, T2, T3, TSC y TSA). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL = grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Tabla 7.

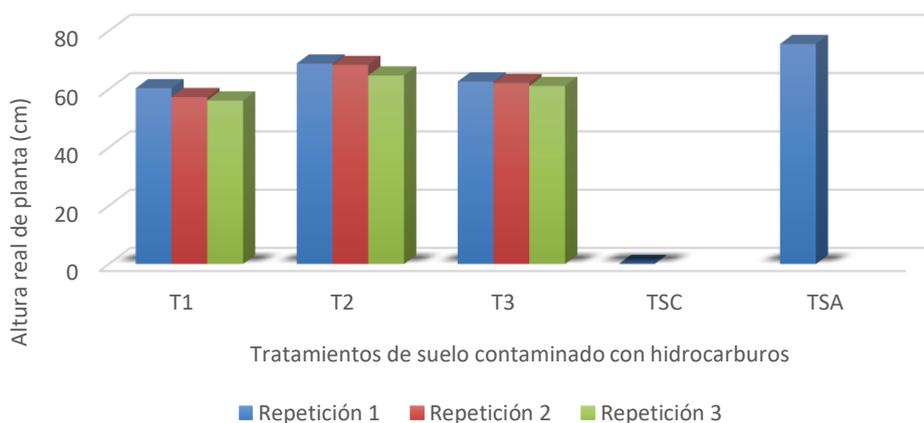
Contraste múltiple de media para la altura real de planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE_1 0,05.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TSC	1	0	X
T1	3	57.9	X
T3	3	61.9333	X
T2	3	67.2667	X
TSA	1	75.5	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Figura 5.

Variación de la altura promedio de la planta Zea mays de los tres tratamientos de humus de Eisenia foetida con suelos contaminados por hidrocarburos.



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de Eisenia foetida, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de Eisenia foetida, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de Eisenia foetida., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

B. Número de hoja promedio de la planta

Tabla 8.

Análisis de varianza ANOVA del número de hoja promedio de la planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.

Fuentes de variabilidad	de Suma Cuadrados	de GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	49.7824	4	12.4456	48.28	0.0001
Error (entre muestras)	1.54667	6	0.257778		
Total (Corr.)	51.3291	10			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó <0.05 para los tratamientos (T1, T2, T3, TSA y TSC). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL =grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Tabla 9.

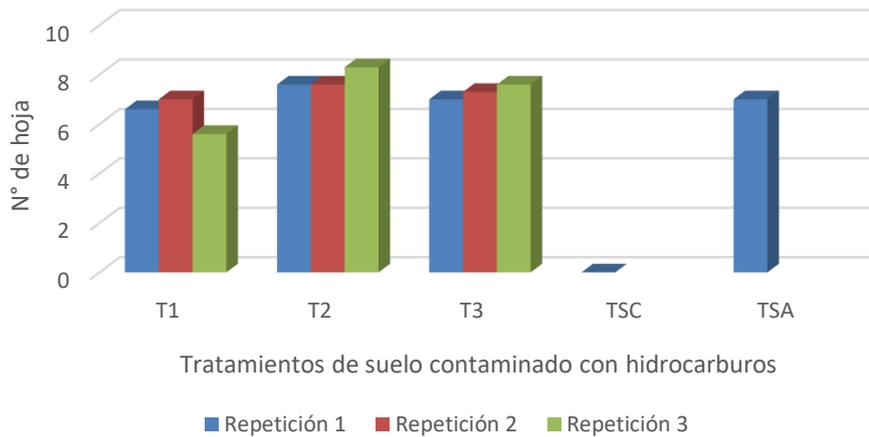
Contraste múltiple de media para el número de hoja de los tres tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error $PE_1 0,05$.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TSC	1	0	X
T1	3	6.4	X
TSA	1	7.0	X
T3	3	7.3	X
T2	3	7.83333	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurion XVIII.

Figura 6.

*Variación del número de hoja promedio de la planta *Zea mays* de los tres tratamientos de humus de *Eisenia foetida* con suelos contaminados por hidrocarburos.*



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, , T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

C. Peso promedio de planta

Tabla 10.

Análisis de varianza ANOVA del peso promedio de planta de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.

Fuentes de variabilidad	Suma de Cuadrados	de GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	3829.28	4	957.321	11.95	0.0051
Error (entre muestras)	480.747	6	80.1244		
Total (Corr.)	4310.03	10			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó <0.05 para los tratamientos (T1,T2, T3, TSC y TSA). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL =grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthatgraphic Centurio XVIII.

Tabla 11.

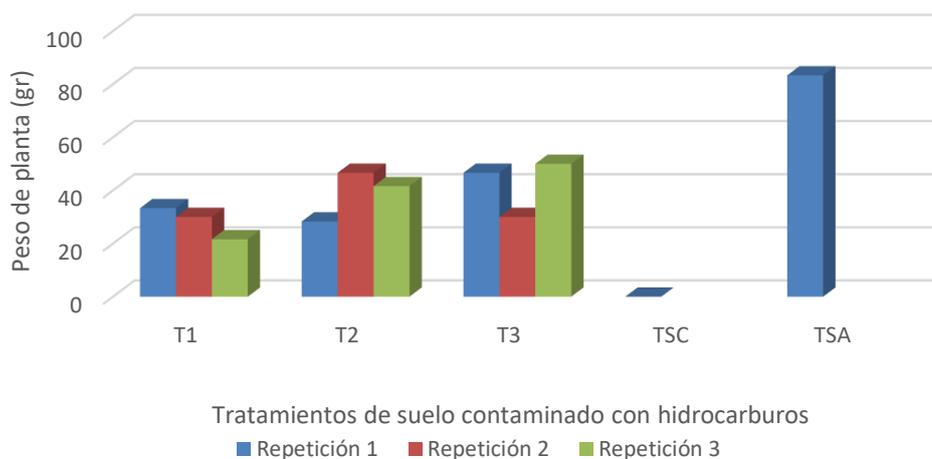
Contraste múltiple de medias para el peso de planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PE1 0,05.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TSC	1	0	X
T1	3	28.3	X
T2	3	38.8333	X
T3	3	42.2	X
TSA	1	83.3	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthatgraphic Centurio XVIII.

Figura 7.

*Variación del peso promedio de la planta *Zea mays* de los tres tratamientos de humus de *Eisenea foetida* con suelos contaminados por hidrocarburos.*



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, , T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

D. Longitud de raíz promedio de las plantas

Tabla 12.

Análisis de varianza ANOVA de la longitud de raíz promedio de las plantas de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura.

Fuente de variabilidad	de Suma de Cuadrados	de GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	1462.68	4	365.669	17.55	0.0018
Error (entre muestras)	125.04	6	20.84		
Total (Corr.)	1587.72	10			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó <0.05 para los tratamientos (T1, T2, T3, TSC y TSA). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL = grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Tabla 13.

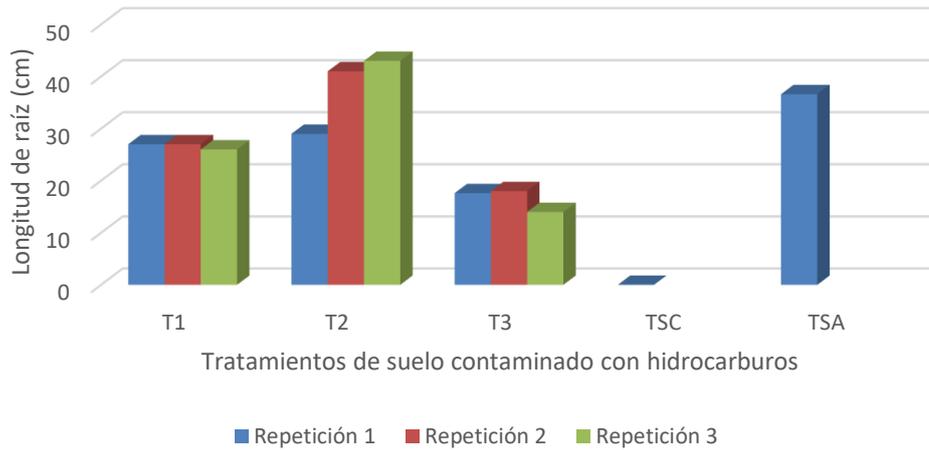
Contraste múltiple de medias para la longitud de raíz de la planta de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PEI 0,05.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TSC	1	0	X
T3	3	16.5333	X
T1	3	26.6667	XX
TSA	1	36.6	X
T2	3	37.6667	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Figura 8.

*Variación de la longitud de raíz promedio de la planta *Zea mays* de los tres tratamientos de humus de *Eisenea foetida* con suelos contaminados por hidrocarburos.*



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, , T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

3.4. Evaluación de la altura real de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos.

Con respecto al tercer objetivo específico, evaluar la altura de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos, en la Tabla 14, se muestra el análisis de varianza de la variación de tamaño de planta *Zea mays* y los tratamientos de acuerdo a la dosificación de humus de *Eisenia foetida*, en la cual se puede observar que existe una diferencia significativa con un $p < 0.05$ a un nivel de confianza al 95%, para ello, se realizó un contraste múltiple de medias (Tabla 15) para evidenciar los diferentes grupos homogéneos que existen.

Así también, se realizaron representaciones gráficas, donde en una se aprecia que las plantas de los tratamientos tuvieron un crecimiento equitativo hasta el día 10 (Figura 7), a partir de ahí la diferencia fue pronunciándose de a poco, teniendo mayor altura el T2 después del TSA; y en la otra (Figura 8), se puede apreciar que el desempeño del T2 fue mayor en todos los periodos establecidos de tiempo, superando en 1.9 cm en el periodo de 20 a 30 días al TSA, siendo el que presenta un mayor desempeño en los primeros periodos.

Tabla 14.

Análisis de varianza ANOVA de la altura promedio de las plantas de los tratamientos de suelo contaminado proveniente de Piura en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	3595.93	4	898.983	4.18	0.0239
B: Días	7686.43	3	2562.14	11.91	0.0007
RESIDUOS	2581.4	12	215.116		
TOTAL (CORREGIDO)	13863.8	19			

Nota. La presente tabla expresa únicamente los resultados donde se observó <0.05 para los tratamientos (T1,T2, T3, TSC y TSA). Se visualizan las medias para los grupos homogéneos. Donde: GL =grados de libertad. Fuente: Programa estadístico Sthatgraphic Centurio XVII.

Tabla 15.

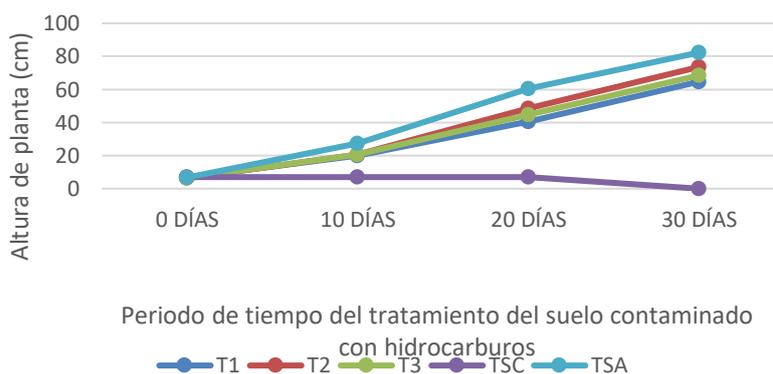
Contraste múltiple de medias para la variación de la altura de planta por días (0, 10, 20 y 30 días) de los 3 tratamientos de humus con suelos contaminados por hidrocarburos, siguiendo el método de mínima diferencia significativa honesta con probabilidad de error PEI 0,05.

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	5	6.713	6.55921	X
10	5	19.1132	6.55921	X
20	5	40.2796	6.55921	X
30	5	57.8332	6.55921	X

Nota. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4 000, alfa = 0.05. Fuente: Programa estadístico Sthographic Centurio XVIII.

Figura 9.

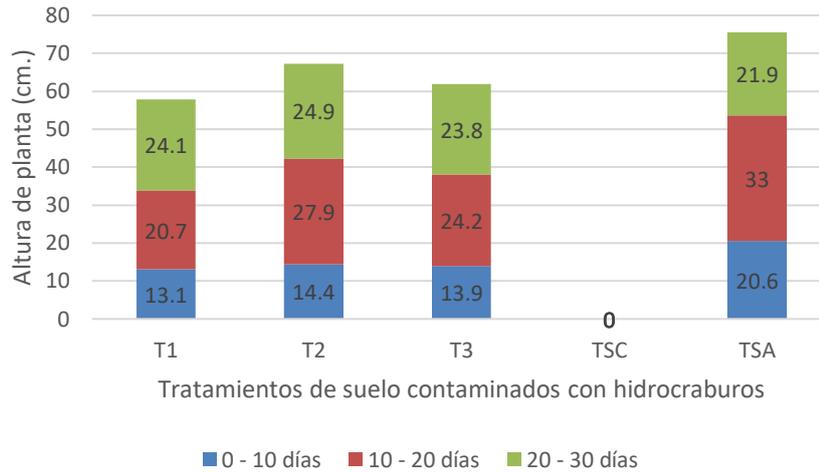
*Variación de la altura de la planta *Zea mays* por días (0, 10, 20 y 30 días) de los 3 tratamientos de humus de *Eisenia foetida* con suelos contaminados por hidrocarburos*



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, , T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

Figura 10.

*Variación de la altura de planta *Zea mays* por periodos de crecimiento de los tratamientos de humus de *Eisenia foetida* con suelos contaminados por hidrocarburos*



Nota. Los tratamientos se describen en la Tabla 2, , T1: 5 kg de suelo contaminado + 2.5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T2: 5 kg de suelo contaminado + 5 kg de humus de *Eisenia foetida*, T3: 5 kg de suelo contaminado + 7.5 kg de humus de *Eisenia foetida*., TSC: 5 kg de suelo contaminado, TSA: 5 kg de suelo agrícola.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La presente investigación se basa en el uso de humus de *Eisenia foetida*, para emplearse como un agente que reduce el grado de contaminación del suelo por hidrocarburos. Así también, lo asevera Cardona *et al.* (2021) con la teoría del humus de *Eisenia foetida* que permite la remediación ya que actúa como acondicionador de suelos para facilitar la extracción del contaminante, que según Zárate *et al.* (2022) presenta una alta carga microbiana que le permite participar directamente en la regeneración de suelos que para Rodríguez (2018) satisface la necesidad de remediar los suelos sin algún tratamiento que fracture la estructura del suelo. Siendo fundamento para Velázquez (2019) que decidió utilizar el humus de lombriz para la mejora de un suelo degradado y su verificación en el cultivo de rabanito.

Referente al objetivo general, evaluar el efecto de la aplicación de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea mays* como indicador, se analizaron la concentración de hidrocarburos de los resultados de las diferentes muestras y las características de la planta indicadora. La Tabla 3 muestra una mayor eficiencia el tratamiento que recibió una dosificación de 7.5 kg de humus con el 31.699 % siendo la mayor dosis de humus, por tal motivo se considera lo indicado por Dávila y Vílchez (2019) la dosis de humus mayor es la que presenta mejor remediación en el suelo contaminado por hidrocarburos, de manera similar Rodríguez (2018) muestra que el humus debido a su tolerancia ante la presencia de contaminantes y a niveles bajos de contaminación, tiene la capacidad de crecer y reducir las concentraciones de hidrocarburos, que el mayor índice de disminución de TPH presente en el suelo, fue el tratamiento con 7.5 kg de humus. De forma similar, Laricano (2018) que a mayor concentración de vermicompost (kg) y

tiempo de aplicación (días) existe una mayor disminución de los niveles de contaminación. A diferencia de Martines et al. (2014) muestra que en su investigación el humus de lombriz no produjo una mejora significativa en la remediación.

Con respecto al primer objetivo específico, evaluar las diferentes dosis de humus de *Eisenia Foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, en la Figura 2, se observan los resultados del análisis de laboratorio, que la dosis de 7.5 kg redujo mayor contenido de hidrocarburos, quedando una concentración del 2.09%. Esto tiene un gran impacto al elegir las cantidades de humus como agente remediador, ya que este tiene que ser mayor para mostrar mayor reducción de contaminantes. La teoría que avala este resultado es que el aumento de humus supone una disminución alta de hidrocarburos, de acuerdo con Velázquez (2019), Laricano (2018), Dávila y Vílchez (2019) que a mayor concentración y tiempo existe mayor reducción del contaminante, el tratamiento que no recibió dosificación de humus tuvo una concentración de 3.06% de TPH, Mientras que el tratamiento que recibió una dosificación de 7.5 kg de humus (T3) obtuvo la reducción mayor, en sus tres repeticiones, siendo la que más destacada la R3 con 2.06 % de TPH, fue el menor valor con respecto a los otros tratamientos, caso contrario con el tratamiento con 7.5 kg de humus, presentando 2.89% en su repetición 2, demostrando que los tratamientos que tuvieron menos dosis de humus de *Eisenia foetida* no contaron con una reducción significativa. En la tabla 4, los resultados según el Análisis de Varianza ANOVA, con un nivel de confianza al 95% nos muestra que la razón-F, que en este caso es igual a 5.89571, es el cociente, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % de TPH entre un nivel de Tratamientos y otro, con un nivel del 5% de significación entre los tratamientos que sí recibieron una dosificación de humus, del mismo modo el tratamiento que recibió una dosificación de 2.5 kg y el tratamiento que no recibió humus.

De acuerdo, con el segundo objetivo específico, la determinación de la capacidad del humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del *Zea mays*, se confirmó la teoría de Hernández *et al.* (2019) que el *Zea mays* es un cultivo indicador usado para evaluar el efecto de la reducción de la concentración de hidrocarburos en los suelos contaminados a través de nuestros parámetros estudiados. Los resultados analizados muestran que el tratamiento con 5 kg de humus tuvo el mayor desempeño en todos los parámetros tanto en altura de planta, número de hoja, peso de planta y longitud de raíz; confirmando la teoría de Velásquez (2019) que el mayor desarrollo vegetativo no se da a mayor dosis de humus de lombriz. Respecto a la altura de planta, en la Figura 3 se muestra la especie *Zea mays* alcanzó la altura mayor en el tratamiento testigo con 75.5cm debido que no presentaba un suelo alterado o contaminado, seguido del tratamiento con 5 kg de humus con 68.8cm en su primera repetición, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la altura de planta y las dosis de los tratamientos con humus de lombriz.

Respecto a los resultados analizados del número de hojas coinciden con la investigación de Velásquez (2019) donde sobresalió el resultado del tratamiento testigo, mostrando valores similares al desarrollo vegetativo del tratamiento con 2.5 kg y el de 7.5 kg de humus, a diferencia del tratamiento con 5 kg de humus, el cual alcanzó el número mayor en su repetición 3 con 8.3, donde en la Tabla 8 se muestra que para los tratamientos si hay diferencia significativa. No coincidiendo con los resultados en peso de planta, ya que sus resultados arrojaron que no existe diferencia significativa en este parámetro, mientras tanto en esta investigación este mantiene su diferencia estadística significativa. Respecto a los resultados analizados de longitud de raíz coinciden con la teoría de Martínez (2014) quien menciona que los iones alcanzan la zona de absorción de la raíz por difusión a través

del movimiento del agua hacia la raíz, entrando en contacto con la zona de absorción a medida que la raíz crece; la Figura 6, nos muestra que el tratamiento con mayor longitud es el tratamiento con 5 kg de humus, en concordancia con Taipe *et al.* (2020) quien nos demuestra que al aplicar el humus de *Eisenia foetida* provoca que se estimule el crecimiento de la raíz de *Zea mays*.

Con respecto al tercer objetivo específico, evaluar la altura de la especie *Zea mays* en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos, se observan los resultados del análisis visual del desarrollo de la planta, que el tratamiento testigo (suelo agrícola) mostró mayor altura a partir del primer día, debido a la ausencia de contaminantes, a diferencia de los tratamientos que sí recibieron dosificación de humus, un crecimiento equitativo hasta el día 10, a partir de ahí se pronuncia cada día una diferencia, alcanzando una altura máxima el tratamiento con 5kg de humus; por tal motivo se considera lo indicado por Marín (2016) que existe diferencia estadísticamente significativa de los dos factores tratamiento y tiempo, sobre la altura promedio de las plantas, también tienen similitud ya que se corrobora que hasta el día 20 todas las plantas de los tratamientos siguen una tendencia regular y similar.

4.1.1. Limitaciones e Implicancias

En cuanto a la limitación temporal, debido a la situación actual de la pandemia por el covid-19 y las medidas adoptadas por el gobierno, por el momento no es factible realizar el análisis experimental; por motivo que, laboratorios de la Universidad Privada del Norte – Trujillo, no nos permite el ingreso, para ello se procedió a enviar a analizar la tierra contaminada al laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo. Así mismo, por medidas de seguridad y la coyuntura no se logró estar presente en la extracción del suelo contaminado por hidrocarburo, por ende, se procedió a contactar a personas aledañas de la zona y sobre

todo conocen su problemática, se pudo obtener dicha tierra para así lograr desarrollar la parte experimental de la investigación. Como implicancia en nuestra investigación, es una alternativa viable y económica, así mismo puede ser replicada por otros estudiantes o investigadores, y a la vez puede servir como base para nuevos estudios.

Como recomendación se hace hincapié en la aplicación metodológica propuesta en la tesis desarrollada, la cual es una alternativa al tratamiento como biorremediador empleado por las empresas petroleras, en su mayoría, por su rápida acción de descontaminación, y así poder combatir los derrames que ocurren, ya que esto deja secuelas nocivas para el medio ambiente, la cual aporta nutrientes y crea un ambiente favorable para las bacterias presentes en el suelo, ayudando así poder acelerar la resiliencia presentes en el suelo.

Las Instituciones como SERNANP, UNU, OEFA, MIMAN y ONG's. puedan fortalecer en las implementaciones de las políticas estrategias y planes de acción que son dirigidos directamente a la gestión ante los derrames del petróleo, donde puedan trabajar mano a mano con agricultores que estén dedicados a la producción y comercialización del humus de *Eisenia foetida*, para que así se pueda contribuir a la protección ambiental, y lograr una sostenibilidad de la sociedad.

4.2. Conclusiones

En conclusión, el efecto de la aplicación de humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados con crudo de petróleo al mes de aplicación mostró una respuesta estadísticamente significativa, el tratamiento con 7.5 kg de humus mostró resultados favorables, la aplicación de 7.5 kg de humus de lombriz logró disminuir de 3.06% a 2.06% de TPH en su tercera repetición, connotando que a mayor concentración de humus de *Eisenia foetida* existe una mayor disminución de los niveles de contaminación de hidrocarburos.

Se evaluaron diferentes dosis de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, de 2.5 kg, 5 kg y 7.5kg, predominando la dosis de 7.5kg, en el tercer tratamiento, logró disminuir de 3.06% a 2.06% de TPH.

El humus de *Eisenia foetida* presenta una gran capacidad remediadora, a partir de la respuesta agronómica del cultivo *Zea mays*, obtuvo un efecto con tendencia positiva en todos sus parámetros analizados, tanto en altura de la planta de maíz bajo condiciones de campo y provocó a su vez un efecto positivo en los demás parámetros.

Se evaluó la altura real de la especie indicadora de contaminación después de la siembra, a los primeros 10 días, todos los tratamientos tuvieron un crecimiento equitativo, detrás de las plantas del testigo (suelo agrícola), al día 20 el tratamiento con 5 kg de humus mantuvo su predominancia con 48.666 cm y menor altura el tratamiento con 2.5 kg de humus con 40.666 cm esto se mantuvo hasta el día 30, debido a que las plantas del tratamiento 2 alcanzaron la altura promedio máxima de 73.633 cm con respecto a los tratamientos 2.5 kg de humus con 64.733 cm y al tratamiento con 7.5 kg de humus con 68.5 cm.

REFERENCIAS

- Bucka, F., Felde, V., Peth, S., & Kögel, I. (2021). Disentangling the effects of OM quality and soil texture on microbially mediated structure formation in artificial model soils. *Geoderma*, 1-12. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706121002937>
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 15(30), 123–130. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101>
- Cabrera, M., & Montenegro, L. (2014). Estudio de dos tratamientos a escala piloto para la biodegradación de suelos contaminados por hidrocarburos por el método de Landfarming. *Revista EPN*, 34(1). Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/320/pdf
- Cárdenas, P. (2017). Biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo por bioestimulación con Cachaza y Guano de Islas en suelos de la Refinería Conchanchepetroperú, Lima, 2017. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3504/Cardenas_MPG.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cardona, A., De La Cruz, O., Matta, Y., Porta, Y., Bolívar, R., & Verdeza, A. (2021). Estudio de mercado del uso del fertilizante humus de lombriz roja californiana en la Región Caribe. *Investigación y desarrollo en TIC*, 12(2). Obtenido de <http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/article/view/5892>

- Chilon, E. (2013). El Compost Altoandino como sustento de la fertilidad del suelo frente al cambio climático. *Journal de ciencia y tecnología agraria*, 2(4), 456-468. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v2n4/v2n4_a04.pdf
- Clark, L. (1995). Control de la contaminación por hidrocarburos y remediación de las aguas subterráneas: una breve revisión. *Revista Trimestral de Ingeniería Geológica* 28: S93-S100. Obtenido de https://qjgeh.lyellcollection.org/content/28/Supplement_2/S93
- Da Silva, A., Banat, I., Robl, D., & Giachini, A. (2022). Fungal bioproducts for petroleum hydrocarbons and toxic metals remediation: recent advances and emerging technologies. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-022-02763-3>
- Davila, P., & Vilchez, H. (2019). Utilización de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) para la reducción de la concentración de DDT en suelos del Centro Poblado Las Malvinas, Moyobamba, 2019. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43695>
- Dhaka, A., & Chattopadhyay, P. (2021). A review on physical remediation techniques for treatment of marine oil spills. *Journal of Environmental Management*, 1-17. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721004904>
- Escudero, C., & Cortéz, L. (2018). Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. Ecuador: Ediciones UTMACH. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodosCualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Obtenido de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Flores, A. (2014). Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes. Aguascalientes: Universidad autónoma de aguascalientes. Obtenido de <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/872/395014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ghosh, S., Sharma, I., Nath, S., & Webster, T. (2021). Chapter 2 - Bioremediation—the natural solution. *Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants*, 11-40. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128225035000187>
- Gonzalez, S., Jie, X., Xiao, T., Yao, B., Wang, J., Slocombe, D., . . . Edwards, P. (2019). The decarbonisation of petroleum and other fossil hydrocarbon fuels for the facile production and safe storage of hydrogen. *Energy Environ. Sci.*, 238-249. Obtenido de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/ee/c8ee02444h>
- Hernández, C., Ojeda, L., Ojeda, O., & Sánchez, L. (2019). Emergencia y desarrollo del maíz (*Zea mays* L.) en un suelo contaminado con Hidrocarburos Totales del Petróleo en fase inicial y a 340 días de biorremediación en biopilas. *Revista científica agroecosistemas*, 7(2), 94-102. Obtenido de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/297>
- Hildebrando, R. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista del Instituto de*

- investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 15(30), 123–130. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101>
- Hussain, A., Rehman, F., Rafeeq, H., Waqas, M., Asghar, A., Afsheen, N., . . . Iqba, H. (2022). In-situ, Ex-situ, and nano-remediation strategies to treat polluted soil, water, and air – A review. *Chemosphere*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521037267>
- Kuangnan, Q. (2021). Molecular Characterization of Heavy Petroleum by Mass Spectrometry and Related Techniques. *Energy Fuels*, 18008–18018. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.1c01783>
- Kumar, A., Yadav, A., Mondal, R., Kour, D., Subrahmanyam, G., Shabnam, A., . . . Malyan, S. (2021). Myco-remediation: A mechanistic understanding of contaminants alleviation from natural environment and future prospect. *Chemosphere*, 1-22. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521017975>
- Laricano, E. (2018). Análisis comparativo de la biorremediación de suelos contaminados con mercurio por actividad minera, aplicando la tecnología de vermicomposta, de, publicado por universidad nacional del Altiplano. Perú: Universidad Nacional Del Altiplano. Obtenido de https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_075f3bf6673e6462d3ce11e81d049bcb
- Ławniczak, L., Woźniak, M., Loibner, A., Heipieper, H., & Chrzanowski, L. (2020). Microbial Degradation of Hydrocarbons—Basic Principles for Bioremediation: A Review. *Molecules*, 25(4). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/4/856>

- Magdalena, C. (2019). Bioestadística aplicada en investigación clínica: conceptos básicos. *Biostatistics applied in clinical research: basic concepts. Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 50-65. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2018.12.002>
- Marín, T. (2016). Crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en un suelo contaminado con petróleo y remediado con extracto de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*). *Enfoque UTE*, 7(3), 1-13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5722/572261592001/index.html>
- Martínez, J., Colombo, P., & Hernández, I. (2014). Uso de humus de lombriz para la biorremediación de suelos mezclados con ripios de perforación impregnados con crudo pesado. *Acta Biol. Venez.*, 34(2), 153-165. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/297641060_USO_DE_HUMUS_DE_LOMBRIZ_PARA_LA_BIORREMEDIACION_DE_SUELOS_MEZCLADOS_CON_RIPIOS_DE_PERFORACION_IMPREGNADOS_CON_CRUDO_PESADO_The_use_of_vermicompost_to_bioremediate_soils_mixed_with_drill_cuttings_impregnated_with_heavy_crude_oil
- Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. (2014). Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus. proyecto “mi chacra emprendedora - haku wiñay. Obtenido de http://draapurimac.gob.pe/sites/default/files/revistas/Produccion%20y%20uso%20de%20abonos%20org%20nicos_%20biol,%20compost%20y%20humus.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2013). Decreto Supremo N°002-2013 ECA. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017). D.S. N° 011-2017-MINAM. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-085-2014-minam/>

Ministerio del Ambiente. (2014). R.M. N° 085-2014-MINAM. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-085-2014-minam/>

Mucha, L., Chamorro, R., Oseda, M., & Alania, R. (2021). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Revista Desafíos*, 12(1), 44-51. Obtenido de <http://revistas.udh.edu.pe/index.php/udh/article/view/253e>

Ñaupas, H. V. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis.

Ortíz, J., Escalante, E., Fócil, R., Ramírez, H., & Díaz, I. (2016). Dinámica de poblaciones bacterianas y actividad deshidrogenasa durante la biorremediación de suelo recién contaminado e intemperizado con hidrocarburos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 237-246. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000200237

Pasciucco, F., Pecorini, I., Gregorio, S., Pilato, F., & Iannelli, R. (2021). Recovery Strategies of Contaminated Marine Sediments: A Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 13(15). Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/15/8520>

Patel, A., Singhania, R., Albarico, F., Pandey, A., Chen, C., & Dong, C. (2022). Organic wastes bioremediation and its changing prospects. *Science of The Total*

Environment, 824. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722009810>

Rajendran, S., Priya, T., Shiong, K., Hoang, T., Suan, H., Halimatul, H., . . . Show, P. (2022).

A critical review on various remediation approaches for heavy metal contaminants removal from contaminated soils. *Chemosphere*, 73(7). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521028411>

Rodríguez, A., Zárate, S., & Bastida, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1). Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962022000100178&script=sci_arttext

Rodríguez, P. (2018). Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo. Ucayali, Perú. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4047/000003720T_AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salinas, F., Sepúlveda, L., & Sepúlveda, G. (2014). Evaluación de la calidad química del humus de lombriz roja californiana (eisenia foetida) elaborado a partir de cuatro sustratos orgánicos en Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 95-99. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292014000200013

Taipe, R., Amaro, L., & Armas, L. (2020). Evaluación de la remoción de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados mediante la aplicación de Compost y Zea Mays (maíz). Callao: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5801>

- Tamayo, L. (2016). Efecto del compost de cáscara de Citrus limon sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/7592>
- Trujillo, M., & Ramírez, J. (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(2). Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/952/946>
- Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151-167. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846>
- Velázquez, H. (2019). Producción de humus de lombriz roja californiana (eisenia foetida) a partir del pre compost orgánico, para la mejora de un suelo degradado y verificación en el cultivo de rabanito (raphanus sativus) en la localidad de La Esperanza, Huánuco. Huánuco: Universidad de Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2103>
- Vivanco, L. (2013). Degradación de petróleo en suelos contaminados con Borra de la Refinería Talara utilizando microorganismos autóctonos y compost. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4233/Vivanco%20Yovera%20Luis%20Segundo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yadav, A., Chandra, D., Kour, D., Rajput, V., Rastegari, A., & Singh, J. (2022). Bioremediation and Waste Management for Environmental Sustainability. *Journal*

of Applied Biology & Biotechnology, 10(2), 1-5. Obtenido de https://jabonline.in/admin/php/uploads/813_pdf.pdf

Zhang, Z., Zhang, K., Dong, W., & Zhang, B. (2020). Study of Rock-Cutting Process by Disc Cutters in Mixed Ground based on Three-dimensional Particle Flow Model. Rock Mechanics and Rock Engineering, 3485–3506. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00603-020-02118-y>

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

Pregunta de investigación	Objetivos de investigación	Hipótesis de investigación	Variables y definición	Metodología	Población
¿Cuál es el efecto de la aplicación de humus de <i>Eisenia foetida</i> en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando <i>Zea mays</i> como indicador, en la ciudad de Piura, 2021?	<p>Evaluar el efecto de la aplicación de humus de <i>Eisenia foetida</i> en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando <i>Zea mays</i> como indicador, en la ciudad de Piura, 2021</p> <p>Evaluar las diferentes dosis de humus de <i>Eisenia foetida</i> en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos</p> <p>Determinar la capacidad del humus de <i>Eisenia foetida</i> en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos estudiado a través de la respuesta agrónoma del <i>Zea mays</i></p> <p>Evaluar la altura real de la especie <i>Zea mays</i> en un periodo de 10, 20 y 30 días después de siembra frente a los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos.</p>	<p>(H1): La aplicación de humus de <i>Eisenia foetida</i> permite remediar un suelo contaminado por hidrocarburos.</p> <p>(H0): La aplicación de humus de <i>Eisenia foetida</i> no permite remediar un suelo contaminado por hidrocarburos.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Humus de <i>Eisenia foetida</i></p> <p>DEPENDIENTE: Remediación de Suelos contaminados por hidrocarburos</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental.</p> <p>Diseño de investigación: Diseño Completamente al Azar (DCA).</p> <p>Técnicas: Observación y Pruebas de laboratorio</p> <p>Instrumento: Ficha de recojo de datos</p> <p>Método de análisis de datos: ANOVA y Contraste múltiple de medias de Duncan</p>	<p>Población: Suelos contaminados con petróleo en la provincia de Piura.</p> <p>Muestra: 50 kg de suelo extraído de los diferentes puntos abandonados por petróleo.</p>

ANEXO N° 2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Remediación de suelos contaminados por hidrocarburos	Es enmendar suelos alterados por compuestos orgánicos, el cual representa una amenaza grave para la salud pública o el ambiente.	Para el análisis de eficiencia se emplearán suelos que hayan sufrido cambios en sus características físicas, químicas o biológicas.	Indicador de contaminación	<i>Zea mays</i>	Ordinal: Muy bueno
VARIABLE INDEPENDIENTE: Humus de <i>Eisenia foetida</i>	Abono ecológico de gran calidad, se genera con los excrementos de las lombrices, dando efecto en las propiedades biológicas del suelo "vivifica el suelo", debido a la gran flora microbiana	La investigación se desarrollará empleando su capacidad de promover la actividad microbiana y la remediación de suelos contaminados.	Acondicionador orgánico	Humus de <i>Eisenia foetida</i>	Ordinal: Muy bueno

ANEXO N° 3. Matriz de instrumentos

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Remediación de suelos contaminados por hidrocarburos	Indicador de contaminación	<i>Zea mays</i>	Observación	Ficha de recolección de datos Escala
Humus de <i>Eisenia foetida</i>	Acondicionador orgánico	Humus de <i>Eisenia foetida</i>	Observación Pruebas de laboratorio	Ficha de recolección de datos Escala

ANEXO N° 4. Variación promedio del tamaño de planta indicadora de contaminación (*Zea Mays*) después de los tratamientos con humus de *Eisenia foetida*.

DÍAS	TRATAMIENTOS (cm)					Total	Promedio
	T1	T2	T3	TSC	TSA		
0 DÍAS	6.833	6.366	6.566	7	6.8	33.565	6.713
10 DÍAS	19.9	20.766	20.5	7	27.4	95.566	19.1132
20 DÍAS	40.666	48.666	44.666	7	60.4	201.398	40.2796
30 DÍAS	64.733	73.633	68.5	0	82.3	289.166	57.8332

ANEXO N° 5. Variación promedio de la altura real de la planta indicadora de contaminación (*Zea Mays*) después de los tratamientos con humus de *Eisenia foetida*.

TRATAMIENTOS	ALTURA REAL DE ZEA MAYS (hf -hi) cm			Total	Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
T1	60.3	57.3	56.1	173.7	57.9
T2	68.8	68.3	64.7	201.8	67.26666667
T3	62.6	62.1	61.1	185.8	61.93333333
TSC	0			0	0
TSA	75.5			75.5	75.5

ANEXO N° 6. N° de hoja promedio de la planta indicadora de contaminación (*Zea Mays*) después de los tratamientos con humus de *Eisenia foetida*.

TRATAMIENTOS	N° DE HOJA			Total	Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
T1	6.6	7	5.6	19.2	6.4
T2	7.6	7.6	8.3	23.5	7.83333333
T3	7	7.3	7.6	21.9	7.3
TSC	0			0	0
TSA	7			7	7

ANEXO N° 7. Peso promedio de la planta indicadora de contaminación (*Zea Mays*) después de los tratamientos con humus de *Eisenia foetida*.

TRATAMIENTOS	PESO DE PLANTA (gr)			Total	Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
T1	33.3	30	21.6	84.9	28.3
T2	28.3	46.6	41.6	116.5	38.83333333
T3	46.6	30	50	126.6	42.2
TSC	0			0	0
TSA	83.3			83.3	83.3

ANEXO N° 8. Longitud de raíz promedio de la planta indicadora de contaminación (*Zea Mays*) después de los tratamientos con humus de *Eisenia foetida*.

TRATAMIENTOS	Repetición			Total	Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
T1	27	27	26	80	26.66666667
T2	29	41	43	113	37.66666667
T3	17.6	18	14	49.6	16.53333333
TSC	0			0	0
TSA	36.6			36.6	36.6

ANEXO N° 9. Resultados del laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION
LASACI



INFORME DE ANÁLISIS
LASACI / UNT

SOLICITANTE	: LOURDES LEÓN MUÑOZ
TESIS	: “Uso de Humus de EISENIA FOETIDA en Suelos Contaminados por Hidrocarburos Empleando ZEA MAYS como Indicador de Contaminacion.Piura 2021”
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
FECHA DE INGRESO	: 25 DE MAYO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

MUESTRA: SUELO CON HIDROCARBURO		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	3.06

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO REPETICIÓN : T1-R1		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.17

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO REPETICIÓN : T1-R2		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.19

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO REPETICIÓN : T1-R3		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.11

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO REPETICIÓN : T2-R1		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.24

Método de extracción por reflujo



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

☎ 949959632 / 942844957

Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION
LASACI



MUESTRA SUELO	REPETICIÓN : T2-R2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.30

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO	REPETICIÓN : T2-R3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.25

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO	REPETICIÓN : T3-R1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.09

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO	REPETICIÓN : T3-R2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.12

Método de extracción por reflujo

MUESTRA SUELO	REPETICIÓN : T3-R3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
HIDROCARBUROS	%	2.06

Método de extracción por reflujo

TRUJILLO, 03 DE JUNIO DEL 2021



ANEXO N° 10. Extracción de suelo contaminado por hidrocarburo en la ciudad de Piura en el año 2021



ANEXO N° 11. Obtención de 30.8 kg de humus de *Eisenia foetida* del proyecto “Lombricultura” de la Institución Educativa Nicolas Cedrón Camacho, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, humus de *Eisenia foetida*.



ANEXO N° 12. Preparación de los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos con 5 kg en cada uno, más la adición de humus de *Eisenia foetida*.



ANEXO N° 13. Germinado de las semillas de maíz (*Zea mays*) para su posterior siembra en las macetas con suelo contaminado por hidrocarburos instaladas con el tratamiento de humus de *Eisenia foetida*.



ANEXO N° 14. Siembra del maíz (*Zea mays*) en los tratamientos: T1 con 2.5 kg de humus, T2 con 5 kg de humus, T3 con 7.5 kg de humus, el testigo en suelo agrícola sin la incorporación de humus de *Eisenia foetida*.



ANEXO N° 15. Desarrollo de la planta *Zea mays* en los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, en los días 27 de abril y 3 de mayo.



ANEXO N° 16. Desarrollo de la planta *Zea mays* en los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, en los días 12 y 13 de mayo.



ANEXO N° 17. Desarrollo de la planta *Zea mays* en los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, en los días 15 y 22 de mayo.



ANEXO N° 18. Mediciones de altura inicial de la planta indicadora de contaminación (Zea mays) después de su germinación y antes de la incorporación a los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, altura inicial y tamaño de raíz inicial.



ANEXO N° 19. Medicion de altura de planta y contabilidad del número de hojas de las plantas *Zea mays* en los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, en los días 15 y 22 de mayo



ANEXO N° 20. Extracción de las plantas *Zea mays* de los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos para su posterior medición morfológica.



ANEXO N° 21. Mediciones morfológicas de peso de planta, longitud de raíz de la planta *Zea mays* presentes en los tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos, en los días 15 y 22 de mayo.



ANEXO N° 22. Codificación de las muestras de suelo de cada tratamiento con humus de Eisenia foetida en suelos contaminados por hidrocarburos para enviar a laboratorio.

