

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430

Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú

Virgilio Alanya de la Cruz

virgilioalanya123@gmail.com

Universidad Nacional de Huancavelica

Orlando Clemente Huaman

2017161011@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica

Cesar Castañeda Campos

cesar.castañeda@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica

Cinthia Elizabeth Anccasi Esteban

cinthia.ancasi@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica

Victor Raul Ramos Mendoza

victor.ramos@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica

Correspondencia: virgilioalanya123@gmail.com

Artículo recibido 06 diciembre 2022 Aceptado para publicación: 06 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Alanya de la Cruz, V., Clemente Huaman, O., Castañeda Campos, C., Anccasi Esteban, C. E., & Ramos Mendoza, V. R. (2023). Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 785-801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430

RESUMEN

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es un proceso natural que consiste en usar microorganismos para degradar los hidrocarburos de petróleo presentes en el suelo. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del uso de estiércol *Bos taurus* “vacuno” y aserrín *Polylepis* “queñual” en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, teniendo como indicador el crecimiento, peso seco foliar y radicular de *Hordeum vulgare* L. “cebada” de la variedad INIA 416 - La milagrosa. En la investigación se empleó la investigación aplicada, de nivel explicativo, con un modelo estadístico de Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones. La población está constituido por el suelo contaminado de taller mecánica “Turbo”, con una muestra de 20kg obtenidas a partir de 20 muestras simples para construir una muestra compuesta, en un área aproximada de 120 m². A las muestras del suelo contaminado se le añadió dosis de sustratos orgánicos y se cultivó la planta indicadora *Hordeum vulgare* L. “cebada” controlando las variaciones de la altura cada 5 días por un periodo de 90 días, asimismo se controló parámetros como la humedad, pH, temperatura y la radiación solar del suelo. Los mejores resultados en la remoción de HTP fue en el tratamiento T4 constituido por suelo contaminado con aserrín *Polylepis* “queñual” y estiércol *Bos taurus* “vacuno” el cual representa una remoción del 8.06 %. El mejor crecimiento de la planta indicadora fue en el T2 con un promedio de 20.08 cm, asimismo en el T2 fue mejor el peso de la biomasa seco foliar con 0.70gr y biomasa seco radicular con 0.38gr, en conclusión, estos tratamientos son más recomendables para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

Palabras clave: biorremediación; hidrocarburos totales de petróleo; *hordeum vulgare* L. “cebada”; *bos taurus* “vacuno”; aserrín *polylepis* “queñual”

Use of manure and sawdust in the bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons, Huancavelica, Peru

ABSTRACT

Bioremediation of soils contaminated by petroleum hydrocarbons is a natural process that consists of using microorganisms to degrade petroleum hydrocarbons present in the soil. The objective of this study was to determine the effect of the use of *Bos taurus* "bovine" manure and *Polylepis* "queñual" sawdust in the bioremediation of soils contaminated by petroleum hydrocarbons, taking as an indicator the growth, leaf and root dry weight of *Hordeum vulgare* L. "Barley" variety INIA 416 - The miraculous. The research used applied research, explanatory level, with a statistical model of Completely Random Experimental Design (DCA) with 4 treatments and 3 repetitions. The population is the contaminated soil with a 30kg sample to which doses of organic substrates were added and the indicator plant *Hordeum vulgare* L. "barley" was cultivated, controlling the variations in height every 5 days for a period of 90 days, likewise Parameters such as humidity, pH, temperature and solar radiation of the soil were controlled. The best results in the removal of PHT was in the T4 treatment consisting of soil contaminated with *Polylepis* "queñual" sawdust and *Bos taurus* "bovine" manure, which represents a removal of 8.06 %. The best growth of the indicator plant was in T2 with an average of 20.08 cm, also in T2 the weight of dry leaf biomass was better with 0.70gr and dry root biomass with 0.38gr, in conclusion, these treatments are more recommended for the bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons.

Keywords: *bioremediation; total petroleum hydrocarbons; hordeum vulgare* l. "barley"; *bos taurus* "bovine"; *polylepis* "queñual" sawdust

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por hidrocarburos de petróleo en los últimos años se ha convertido en un problema alarmante debido a que este compuesto causa alteraciones a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Trujillo et al., 2014). La contaminación de suelo con hidrocarburos es un problema creciente que ha llevado al desarrollo e implementación de tecnologías para la remediación y recuperación de los ambientes contaminados (Quispe, 2019). La mayor preocupación con respecto a la contaminación por hidrocarburos es que, se encuentra en las características tóxicas, cancerígenas y muta génica. El grado de contaminación ambiental depende de la composición química y concentración del contaminante y las propiedades del suelo (Pimentel, 2021)

Los derrames de petróleo son una importante fuente de contaminación tanto de suelo como de agua (Santos Chuñir, 2020). Al derramarse el crudo en el suelo, se genera en la superficie una capa muy fina que imposibilita el crecimiento de plantas o animales, generando cambios físicos y químicos como variaciones en materia orgánica, cambios en la estructura, incremento de densidad real, entre otros (Ruiz, 2019).

De acuerdo a las organizaciones internacionales el suelo contaminado con petróleo es una amenaza invisible para la flora y fauna debido a que las sustancias filtran al subsuelo. Este problema ha crecido de manera considerada generando preocupación a las entidades competentes, gobiernos y propietarios. Para reducir los impactos generados algunas alternativas de solución son las tecnologías ecológicas como la remediación y restauración de ambientes contaminados (Grey, 2015).

En México, debido a los diferentes procesos como la extracción, producción, almacenamiento y transporte de petróleo miles de hectáreas del suelo fueron contaminados por hidrocarburos de petróleo. La industria petrolera genera un impacto negativo que provoca la degradación ambiental que se acumula directa o indirectamente en el suelo, el agua y el aire (Islas et al., 2019)

En Colombia las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos son las actividades de explotación, transporte y almacenamiento de combustibles (Ñustez, 2012). Los problemas de contaminación a nivel mundial tanto en suelos como en agua y aire se deben principalmente a diversos tipos de acciones antropogénicas, entre las que cabe destacar la extracción de recursos naturales, en este caso en particular de

hidrocarburos. El impacto ambiental que se genera en Colombia debido a esta situación incluye la contaminación de miles de hectáreas, fuentes hídricas afectadas, fauna y flora deterioradas o cambios drásticos en el paisaje (Velásquez, 2016).

La contaminación ocasionada por la extracción del petróleo, son relativamente irremediables, dado que los procesos de descontaminación no alcanzan a cubrir todas las áreas afectadas y se realizan mucho tiempo después de que el crudo ha contaminado el suelo (Sabín & González, 2017).

En Perú la mayor parte de los talleres de mecánica de vehículos terrestres están contaminados por residuos de hidrocarburos de petróleo (DIGESA, 2006). Los talleres de mecánica de la ciudad de Juliaca generan gran cantidad de lubricantes de los automóviles el cual estos son vertidos directamente al suelo o al sistema de alcantarillado sanitario (Curasi & Luque, 2018).

La parte norte del Perú tiene varios yacimientos de petróleo, el cuál es trasladado mediante oleoductos en muchos casos se genera derrames que contaminan el suelo, perdida de flora y fauna amazónica. Es así que en el mes de enero del 2022 se ocasionó el derrame de petróleo más desastroso de los últimos años, ocurrió en el litoral marino de la refinería La Pampilla. Según los informes indicaron que se derramó 11900 barriles de petróleo y el esparcimiento del crudo es de 1,739,000m², que comprende 24 playas del Pacífico contaminadas y 116 km² impactados por el petróleo, entre mar y tierra (Pulido et al., 2022).

En la región Lambayeque, así como en el Perú funcionan talleres de reparación de vehículos terrestres y centros de expendio y cambio de aceites lubricantes que no cuentan con la infraestructura requerida para la disposición de sus residuos peligrosos y en su mayoría contaminan el suelo y atmósfera, como producto de sus actividades (Alcántara & Llatas, 2018).

La región Ucayali por muchos años ha sido una de las zonas de producción de petróleo, existen yacimientos en Maquia, Aguas calientes, así como la refinería Pucallpa, Petróleos de la Selva y la Planta de fraccionamiento y Planta de gas de Aguaytía y en el año 2014 se efectuaron varios pozos exploratorios confirmando la existencia de crudo de excelente calidad, lo cual originó el incremento de la actividad de producción, almacenamiento y transporte de petróleo, incrementándose notablemente el riesgo de derrame de

petróleo por la volcadura de camiones cisterna que transportan el petróleo crudo producido en la región (Rodríguez, 2018).

Los residuos aceitosos que contaminan el suelo de los talleres contienen hidrocarburos totales de petróleo que afectan negativamente a los seres vivos en general (Singh, 2017).

Por su parte, el estiércol es una fuente de nutrientes y microorganismos de fácil disponibilidad en todos los lugares donde se crían animales.

Los aceites lubricantes con 75 a 85% de hidrocarburos totales de petróleo (TPH o HTP) y 15 a 25% de aditivos forman una capa gruesa en el suelo, que afecta negativamente sus propiedades y constituye una fuente de contaminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAP (Mena, 2009).

Esto 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 (Buendía R., 2012).

La biorremediación es de bajo costo y no impacta negativamente al ambiente; sin embargo, cuando el número y tipos de microorganismos no son los requeridos o los nutrientes no son suficientes, el proceso es lento y los contaminantes no son mineralizados (Torres y Zuluaga, 2001). La utilización de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo es una técnica de fácil ejecución y bajo costo (Bustamante & Silva, 2019).

La biodegradación aumentada o biorremediación surge de la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los derrames de los hidrocarburos en los diferentes ambientes, acelerando los procesos de biodegradación por la actividad metabólica de plantas, hongos, algas y bacterias (Flores & Benites, 2015).

La biorremediación es una tecnología que se utiliza la capacidad de microorganismos para acelerar la degradación de contaminantes (Olguin, Hernandez, & Sanchez, 2007). El uso de sustratos orgánicos como estiércol y aserrín mejora la degradación de hidrocarburos de petróleo y también mejora las propiedades del suelo contaminado.

La biorremediación es considerada la vía más efectiva para la remediación de suelos contaminados, en contraste a alternativas más costosas como la incineración. Los tratamientos biológicos de degradación en suelos pueden ser eficientes y económicos si las condiciones de biodegradación son optimizadas (Rodríguez, 2017).

La biorremediación es una técnica que estimula la actividad microbiana y en consecuencia acelera el proceso natural de degradación del compuesto contaminante. En la ciudad de Huancavelica el uso excesivo de vehículos terrestres lo hace que los talleres mecánicos de reparación aumenten y generen residuos peligrosos como filtros o aceites usados, líquido de frenos, anticongelante o baterías (metales), los cuales son vertidos directamente al suelo generando daños a la salud de las personas y al medio ambiente.

En ese sentido, los derrames de derivados del petróleo tienen efectos negativos para el ambiente ya que puede afectar no solo a los suelos, sino también a la napa freática contaminando así las aguas subterráneas. Por lo tanto se deben evitar, mitigar, prevenir y restaurar las ocurrencias de derrames de hidrocarburos (Lizana, 2018).

Viendo este panorama, se puede afirmar que es un problema social y ambiental que requiere del conocimiento de procesos y técnicas para la restauración y descontaminación de áreas afectadas por estos derrames y que además sean tecnologías de bajo costo y accesibles (Lizana, 2018).

METODOLOGÍA

Se utilizó el tipo de investigación aplicada, de un nivel explicativo, con un modelo estadístico de Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones (Carrasco, 2006).

Población, muestra y muestreo

La población que se estimó en la presente investigación son los 10 talleres mecánicos de vehículos terrestres, que generan residuos de hidrocarburos en la ciudad de Huancavelica. De los cuales se seleccionó a taller mecánica "Turbo" que tiene más de 30 años de funcionamiento, asimismo, el área del taller no cuenta con pavimento lo que facilita el estudio, se encuentra ubicado en Av. Los Incas de la ciudad de Huancavelica. La muestra está formada por 30 kg de suelo muestreados de un área de 120m². El cual se extrajeron de 20 muestras simples para construir una muestra compuesta.

En la presente investigación se aplicó la técnica de muestreo no probabilístico con tipo de muestreo intencionada donde se selecciona las muestras en base a un conocimiento y juicio profesional (Carrasco, 2006).

Técnicas de recolección de datos.

Las técnicas para la recolección de datos fueron las siguientes:

Selección de área. El área donde se realizó el proyecto es la huerta de plantas nativas de una vivienda que está ubicado en la Av. Universitaria S/N – barrio San Cristóbal donde se dio las condiciones necesarias.

Muestreo de suelo por rejillas regulares. Para el muestreo se utilizó patrón de rejillas regulares donde se proyectan unas líneas semejantes que facilitan que las celdas tengan los mismos las mismas dimensiones, el área poblacional se dividió en 20 celdas equitativamente con medidas de 2x3 m, de cada celda se tomó una muestra representativa de suelo contaminado que fue de 1.5 kg, obteniendo en una muestra compuesta de 30 kg.

Análisis inicial y final de las muestras en el laboratorio. Se determinaron la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (Inicial – Final).

Diseño de los tratamientos. Se aplicó el DCA en los tratamientos recomendada por Buendía (2012).

Observación en campo, experimental y sistemática. Permitió recabar información de datos de la variación de altura, peso seco foliar y radicular de *Hordeum vulgare L* “cebada”, se utilizó como instrumento de recolección de datos el equipo de medición de los parámetros estudiados: el calibrador vernier, balanza de precisión y equipo de laboratorio Envirotest.

Instrumentos de recolección de datos

Guía de muestreo/cadena de custodia. Es un documento que recogió toda la información en el campo, la técnica de muestreo que se utilizó, condiciones del punto de muestreo y breve descripción de las muestras tomadas.

Equipo de Laboratorio Envirotest. Se utilizó para análisis inicial y final de Hidrocarburos Totales de Petróleo mediante Chromatography EPA Method 8015C.

Envases rotulados para muestras. Nos accede que las muestras obtenidas sean identificadas por códigos.

Cooler: Se usó para preservar las muestras a una temperatura ambiental y evitar la contaminación de las muestras.

Tablas/ Ficha de recolección de datos: Permitió registrar todos los datos en campo y resultados obtenidos en laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el Laboratorio de Envirotest (Environmental testing laboratory S.A.C) se muestran en la Tabla 1, la concentración inicial y final de Hidrocarburos Totales de Petróleo, asimismo la eficiencia de remoción de los tratamientos.

Tabla 1 *Análisis (inicial y final) y la eficiencia de remoción de HTP por tratamiento*

Tratamientos	Composición	HTP; Inicial (gr HTP/kg)	HTP; Final (gr HTP/kg)	Eficiencia de remoción (%)
T1	SC+P	28.80	27.38	4.93
T2	SC+A+P	28.80	26.55	7.81
T3	SC+E+P	28.80	27.08	5.97
T4	SC+A+E+P	28.80	26.48	8.06
Media			6.68	6.68

Según el estudio nos indica que el T1 (suelo contaminado) tuvo una remoción muy baja el cual equivale a un porcentaje de remoción de 4.93 %, mientras que el tratamiento que registro un valor alto en la remoción fue el T4 (suelo contaminado con estiércol *Bos taurus* y aserrín *Polylepis*) con un porcentaje de remoción de 8.06 %. Por lo tanto, se determina que si existe efecto en la remoción de la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo usando estiércol *Bos taurus* y aserrín *Polylepis*. Por otro lado, Buendía (2012), obtuvo como resultado donde el tratamiento muy eficiente fue el T3 que es dosificado el suelo contaminado con vacaza más aserrín que un resultado de 21.81 gr de TPH/kg que disminuyó a una concentración de 16.28 gr de TPH/kg, que obtuvo una disminución del 25 %. Mientras que para, Lizana (2018), en su investigación la disminución máxima es de 99,59 % que obtuvo el T2 (carbón activado de cáscara de Cocos nucifera L. “coco”) y en lo cual se relaciona con Flores & Benites (2015) que indica que los sustratos orgánicos de estiércol de cuy, porcino y vacuno aumentaron la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de diésel en terrarios, donde sobresalió el estiércol de cuy más nutrientes con 81,7 % de eficiencia en la biorremediación.

En la Tabla 2 muestra adecuadamente los resultados de promedios finales de las variables; altura de la planta, peso seco foliar y peso seco radicular de *Hordeum vulgare*

L. "cebada", Obtenidos en el Laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica específicamente en el área de microbiología y parasitología.

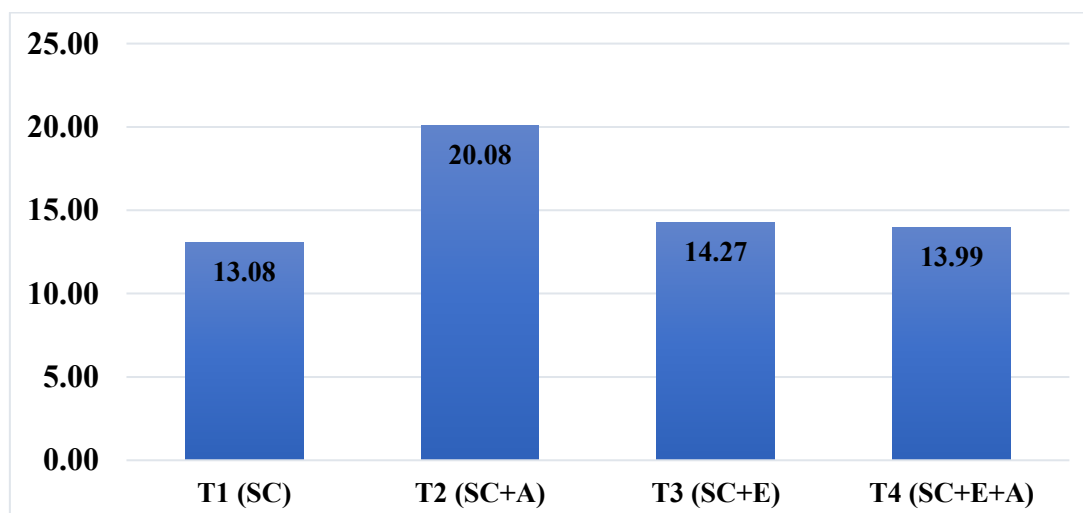
Tabla 2 Promedios de (altura, peso seco foliar y peso seco radicular de *Hordeum vulgare* L. "cebada") de los diferentes tratamientos

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Peso seco foliar (g)	Peso seco radicular (g)
T1 (SC+P)	13.08	0.45	0.28
T2 (SC+A+P)	20.08	0.70*	0.38*
T3 (SC+E+P)	14.27	0.63	0.25
T4 (SC+A+E+P)	13.99	0.48	0.27
Coeficiente de Variación (%)	8.80	2.60	3.00
Significación Estadística del ANVA	(*)	(*)	(*)

De acuerdo a la Tabla 2, según el estadístico de Tuckey, arroja un coeficiente de variación (CV), para las variables altura de planta 8.80 %, para el peso seco foliar de 2.60 %, y para la variable peso seco radicular 3.00 %, respectivamente, lo cual indica que no hubo variación en cada uno de las repeticiones por tratamiento. Existe alta significancia estadística para las tres variables evaluadas, por lo que se considera que estas variables son importantes para evaluar la concentración de los hidrocarburos en experimentos atípicos de biorremediación usando plantas de *Hordeum vulgare* L. "cebada".

Posteriormente, en la Figura 1 se presenta promedio de la altura *Hordeum vulgare* L. "cebada" de los tratamientos.

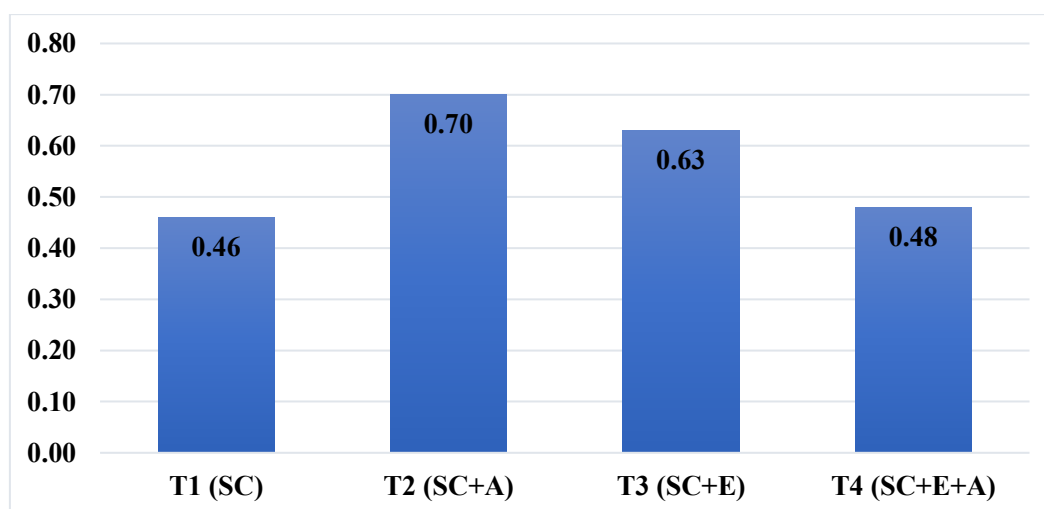
Figura 1 Altura final promedio de *Hordeum vulgare* L. "cebada"



En la presente Figura 1, demuestra que hubo diferencia significativa entre el T2 respecto T1, T3, T4 en donde se utilizó sustratos orgánicos al estiércol *Bos taurus* “vacuno” y aserrín *Polylepis* “Queñual” y el cuál tuvo un promedio máximo de crecimiento de 20.08 cm de altura de planta indicadora de *Hordeum vulgare* L. “cebada”; asimismo, en el T1 donde no se utilizó ningún sustrato orgánico se obtuvo un promedio máximo de crecimiento de 13.08 cm de altura de planta de *Hordeum vulgare* L. “cebada”, el cual coincide con la investigación de Buendía (2012), donde menciona el desarrollo de la planta indicadora *Zea mays* L. “maíz” ha sido perjudicado por la concentración de HTP teniendo diferencias significativas en los tratamientos, usando sustratos orgánicos como (estiércoles y aserrines) el promedio de crecimiento de la planta de *Zea mays* L. “maíz” fue de 49,77 cm, en relación con el tratamiento que no se dosificó ningún sustrato orgánico tuvo un promedio máximo de 5,34 cm de altura de planta de *Zea mays* L. “maíz”; también concuerda con la investigación realizado por Lizana (2018), donde hubo diferencia significativa entre los T2, T3 y T4 utilizando sustratos orgánicos como carbón activado de cáscara de *Cocos nucifera* L. “coco” y compost de cascarilla de *Oryza sativa* L. “arroz” en el cual tuvo un promedio máximo de crecimiento de 54,50 cm de la planta de *Helianthus annuus* “girasol”; y referente al T1 en donde no se utilizó ningún sustrato orgánico se obtuvo un promedio máximo de crecimiento de 28,17 cm de planta de *Helianthus annuus* “girasol”.

A continuación, demuestra el promedio final de peso seco foliar de *Hordeum vulgare* L. “cebada” de los tratamientos.

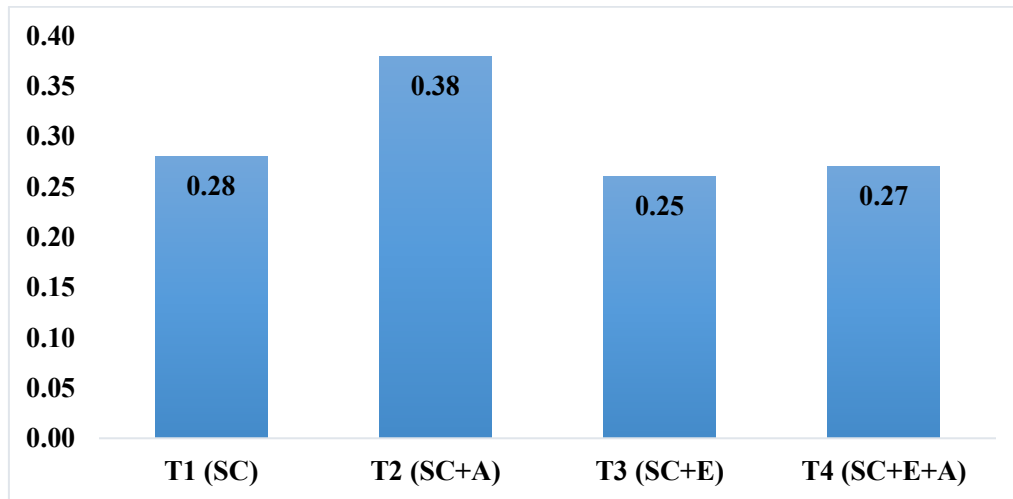
Figura 2 Promedio final de peso seco foliar (gr) de *Hordeum vulgare* L. “cebada”



La figura 2, nos muestra según los resultados obtenidos en la presente investigación sobre el peso seco foliar de *Hordeum vulgare* L. “cebada” nos indica que el mejor resultado fue en T2 (suelo contaminado con aserrín *Polylepis* “Queñual”) con 0.70 g, en cambio en el T1 (suelo contaminado) el desarrollo del peso seco foliar ha sido mínimo de 0.46 g debido a que no se añadió ningún sustrato orgánico, ante ello, se indica que hay diferencias significativas entre otros tratamientos, es decir al añadir sustratos orgánicos como estiércol y aserrín que son utilizados en el presente trabajo mejoran el desarrollo de parte foliar de la planta. Asimismo, mencionar que el escaso desarrollo de la parte foliar de la planta se debe a la concentración de hidrocarburos, es decir la presencia de HTP tarda en el crecimiento y desarrollo de peso foliar. Según su investigación de Buendía (2012), donde menciona el desarrollo de la planta *Zea mays* L. “maíz” es perjudicado por la concentración de HTP teniendo diferencias significativas en los diferentes tratamientos, como sustratos orgánicos como se da el uso estiércoles y aserrines donde el promedio máximo de peso seco foliar de la planta *Zea mays* L. “maíz” es de 8.67 gr, en relación con el tratamiento que no se dosificó con ningún sustrato orgánico resulta un promedio máximo de 2,53 gr de peso seco foliar de planta *Zea mays* L. “maíz”. Así mismo concuerda esta investigación de Lizana (2018), donde hubo diferencias significativas entre los tratamientos, utilizando sustrato orgánico donde hubo la influencia en el desarrollo de la planta de *Helianthus annuus* “girasol” por lo tanto el suelo contaminado con gasolina tratado con carbón activado de cáscara de *Cocos nucifera* L. “coco” que tiene un resultado con un máximo promedio de 9,96 g de peso seco foliar y, sin utilizar ningún sustrato resulta un promedio de 2,92 g de peso seco foliar. También en su investigación de Espinoza (2021), reporta que el tratamiento con 70 % de vermicompost destacó en la materia biomasa seca foliar, que excede significativamente al testigo, lo cual muestra que el vermicompost es utilizado como fuente materia orgánica para el suelo contaminado favorece la actividad microbial e influye en el mayor crecimiento aéreo de *Hordeum vulgare* L. y también reporta Lizana (2018) en su investigación que al ensayar en forma de piloto la biorremediación de un suelo contaminado con petróleo, utilizando *Helianthus annuus* “girasol” como planta indicadora, encontraron que la especie utilizada disminuyó el contenido de hidrocarburos.

Posteriormente, demuestra el promedio final de peso seco radicular de *Hordeum vulgare* L. “cebada” de los tratamientos.

Figura 3 Promedio final de peso seco radicular (gr) de *Hordeum vulgare* L. “cebada”



En la presente Figura 3, demuestra Según los resultados obtenidos en la presente trabajo sobre el peso seco radicular de *Hordeum vulgare* L. “cebada” nos indica que el mejor resultado fue en T2 (suelo contaminado con aserrín *Polylepis* “Queñual”) con 0.38 g, en cambio en el T3 (suelo contaminado con estiércol de *Bos taurus*) el desarrollo del peso seco radicular fue mínimo de 0.25 g, debido que el sustrato es ineficiente en la oxigenación del suelo, ante ello, se indica que hay diferencias significativas entre otros tratamientos, es decir al añadir sustratos orgánicos como estiércol que se utiliza en la presente trabajo no mejora en desarrollo de parte radicular de la planta. Asimismo, mencionar que el escaso desarrollo de la parte radicular de la planta se debe a la concentración de hidrocarburos, es decir la presencia de HTP tarda en el crecimiento y desarrollo de peso foliar. Según su investigación de Buendía (2012), donde menciona el desarrollo de la planta *Zea mays* L. “maíz” es perjudicado por la concentración de HTP teniendo diferencias significativas en los diferentes tratamientos, como sustratos orgánicos como se da el uso estiércoles y aserrines donde el promedio máximo de peso seco radicular de la planta *Zea mays* L. “maíz” es de 6.73gr, en relación con el tratamiento que no se dosificó con ningún sustrato orgánico resulta un promedio máximo de 2,70 gr de peso seco radicular de planta *Zea mays* L. “maíz”. Así mismo concuerda esta investigación de Lizana (2018), donde hubo diferencias significativas entre los tratamientos, utilizando sustrato orgánico donde hubo la influencia en el desarrollo de la planta de *Helianthus annuus* “girasol” por lo tanto el suelo contaminado con gasolina

tratado con carbón activado de cáscara de *Cocos nucifera* L. "coco" que tiene un resultado con un máximo promedio de 1.13 gr de peso seco radicular y, sin utilizar ningún sustrato resulta un promedio de 0.52 gr de peso seco radicular. También en su investigación de Espinoza (2021), reporta que el tratamiento con 70 % de vermicompost destacó en la materia biomasa seca radicular, que excede significativamente al testigo, lo cual muestra que el vermicompost es utilizado como fuente materia orgánica para el suelo contaminado favorece la actividad microbial e influye en el mayor crecimiento aéreo de *Hordeum vulgare* L. y también reporta Lizana (2018) en su investigación que al ensayar en forma de piloto la biorremediación de un suelo contaminado con petróleo, utilizando *Helianthus annuus* "girasol" como planta indicadora, encontraron que la especie utilizada disminuyó el contenido de hidrocarburos.

CONCLUSIÓN O CONSIDERACIONES FINALES

- El tratamiento que representa mayor porcentaje de remoción en la concentración de HTP es el tratamiento T4 con dosis de aserrín *Polylepis* "queñual" y estiércol *Bos taurus* "vacuno", donde se obtuvo resultado inicial de 28.80 (gr HTP/kg) y finalmente se disminuyó a una concentración de 26.48 (gr HTP/kg) lo cual representa a una remoción del 8.06% de HTP. Además, sin utilizar ningún sustrato orgánico el cual representa el tratamiento T1 obtuvo una remoción 4.93% de HTP.
- El uso de estiércol *Bos taurus* "vacuno" y aserrín *Polylepis* "queñual" en el suelo contaminado con HTP tuvo el siguiente resultado en el crecimiento de *Hordeum vulgare* L. "cebada", donde el mejor resultado ha sido en el T2 (suelo contaminado con dosis de aserrín de *Polylepis* "queñual") con promedio de 20.08 cm de altura de planta de *Hordeum vulgare* L. "cebada". Sin embargo, usando solo estiércol *Bos taurus* "vacuno" tuvo un promedio de 14.27 cm de altura y utilizando la combinación de los dos sustratos aserrín de *Polylepis* "queñual" y estiércol de *Bos taurus* "vacuno" tuvo un promedio de 14.37 cm de altura. Finalmente, sin utilizar ningún otro sustrato orgánico, la altura de la planta fue de 13.08 cm.
- Los tratamientos tuvieron efecto en el desarrollo foliar de la planta de *Hordeum vulgare* L. "cebada", donde el mejor resultado ha sido en suelo contaminado por HTP añadido con aserrín de *Polylepis* "queñual" con un promedio máximo de 0.70 gr, sin embargo usando estiércol de *Bos taurus* "vacuno" tuvo un promedio de 0.63gr, utilizando la combinación de los dos sustratos aserrín de *Polylepis* "queñual" y

estiércol de *Bos taurus* "vacuno" tuvo un promedio 0.48 gr. Finalmente, sin añadir ningún sustrato orgánico tuvo un promedio de 0.46 g de peso seco foliar.

- Los tratamientos tuvieron efecto en el desarrollo radicular de la planta de *Hordeum vulgare* L. "cebada", donde el mejor resultado ha sido en suelo contaminado por HTP añadido con aserrín de *Polylepis* "queñual" con un promedio de 0.38gr, sin embargo usando estiércol de *Bos taurus* "vacuno" obtuvo un promedio de 0,25 gr, utilizando la combinación de los dos sustratos aserrín de *Polylepis* "queñual" y estiércol de *Bos taurus* "vacuno" obtuvo un promedio de 0,27 gr. Finalmente, sin ningún sustrato orgánico obtuvo un promedio de 0,28 g de peso seco radicular

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, M. C., & Llatas, C. L. (2018). *Efecto del estiércol de cavia porcellus en el potencial de malezas para la remediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo* (pp. 1–250). <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3424/BC-TES-TMP-2247.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buendía R., H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista Del Instituto de Investigacion (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 15(30), 1–15. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/viewFile/4101/3268>
- Bustamante, G., & Silva, J. (2019). *Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de servicios*.
- Curasi, N., & Luque, M. (2018). *Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz* (pp. 1–94).
- DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD Y AMBIENTE. (2006). *Manual de difusión técnica N° 01: Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú* (F. G. Robles (ed.)). [http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/MANUAL TECNICO RESIDUOS.pdf](http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/MANUAL_TECNICO_RESIDUOS.pdf)
- Flores, J., & Benites, J. (2015). *Efecto del estiércol de cuy, porcino y vacuno en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de diésel en terrarios* (p. 100). <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/832>

- Islas, J., Vaca, M., Tavera, W., Lizardi, A., López, R., & Terres, H. (2019). Composteo de un suelo contaminado con hidrocarburos fracción pesada con cáscara de naranja y gallinaza como cosustratos. *Revista Tendencias En Docencia e Investigación En Química 2019*, 205–210.
- Lizana, J. A. (2018). *Aplicación de carbón activado de cáscara de “coco” y cascarilla de “arroz” para la biorremediación de suelos contaminados por gasolina, distrito y provincia de Moyobamba - 2018* (pp. 1–57). [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION - Pamela Jhosymar Valles Vásquez %26 Martha Ruth Guerra Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION-Pamela-Jhosymar-Valles-Vásquez-%26-Martha-Ruth-Guerra-Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mena, M. A. (2009). *Estándares de gestión medio ambiental en talleres de mecánica automotriz. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Ñustez, D. C. (2012). *Biorremediación para la degradación de Hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de Servicio Combustible*.
- Pimentel, G. (2021). *Aplicación de prácticas sostenibles en suelo contaminado por hidrocarburo de un taller mecánico, Chilca, 2019*. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9783/4/IV_FIN_107_TE_Pimentel_Rojas_2021.pdf
- Pulido, V., Escobar, F., Arana, C., & Olivera, E. (2022). *Efectos del derrame de petróleo en la Refinería la Pampilla en las costas del litoral marino, Lima (Perú)*. 24(1), 5–8.
- Quispe, J. M. M. (2019). *Identificación y determinación de la biomasa de bacterias nativas de suelo contaminado por hidrocarburos producto de la biodegradación a diferentes concentraciones de Diésel B5*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9912>
- Rodríguez, G. (2017). *Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar* (Vol. 9, Issue 1, pp. 59–66). <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v9n1a6>
- Rodríguez, P. G. (2018). *Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo Ucayali, Perú* (pp. 1–96). http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4047/000003720T_AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, A. C. (2019). *Efecto del biocarbón en la inmovilización de hidrocarburos en suelos contaminados* (pp. 1–126).

<http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/handle/UCS/710>

- Sabín, A. M., & González, E. J. (2017). *Estudio de la biorremediación de un suelo de sabana contaminada con petróleo crudo aplicando lixiviado de compost como bioestimulador* (p. 111).
- Santos Chuñir, K. M. (2020). *Evaluación de bacterias degradadoras de hidrocarburos aisladas a partir de un contenedor de aceite usado de motor*.
- Singh, R. Ñ. (2017). *Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future*. 1(Springer), 1–12. <http://www.springer.com/series/13085>
- Trujillo, A., Rivera, M. del C., Lagunes, L. del C., Palma, D. J., Sánchez, S., & Ramirez, G. (2014). *Parametros biológicos de la restauración de suelos contaminados por petróleo crudo*. 1(2), 107–122.
- Velásquez, J. A. (2016). *Contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos en Colombia Fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*.