



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EFFECTO DE UN CONSORCIO MICROBIANO EN EL  
SUELO OBTENIDO EN LA MECÁNICA AUTOMOTRIZ  
MEJÍA DE LA CIUDAD DE CUENCA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

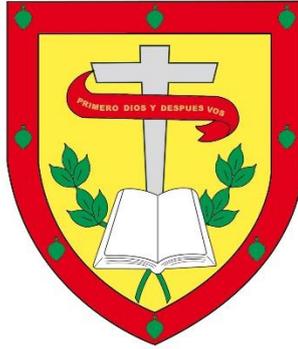
**AUTORA: PAOLA JANELA JIMÉNEZ RAMOS**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADR ALVAREZ VERA PhD.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EFFECTO DE UN CONSORCIO MICROBIANO EN EL SUELO  
OBTENIDO EN LA MECÁNICA AUTOMOTRIZ MEJÍA DE LA CUIDAD  
DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTOR: PAOLA JANELA JIMÉNEZ RAMOS**

**DIRECTOR: ING.MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA PhD.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Paola Janela Jiménez Ramos de la cédula de ciudadanía N° 1105808149. Declaro ser el autor de la obra: “Efecto de un consorcio microbiano en el suelo obtenido en la Mecánica Automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de enero de 2022

F: .....

Paola Janela Jiménez Ramos

1105808149

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paola Janela Jiménez Ramos, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera PhD.**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado para toda mi familia y amigos, pero de manera especial a mis padres  
Gilbert y Esperanza.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradezco a Dios por haberme permitido vivir nuevas experiencias en la vida, llenarme de sabiduría, bendiciones, pero sobre todo fuerzas en cada momento.

Mi agradecimiento eterno para mis padres, por brindarme el apoyo incondicional durante todo el periodo de mi formación académica, gracias por su apoyo y motivación siempre les estaré agradecida.

Mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis al Dr. Manuel Alvarez Vera, por brindarme su confianza, conocimientos, pero sobre todo su apoyo incondicional en momentos difíciles para la realización de este trabajo. Así mismo mi agradecimiento al Dr. Vinicio Santillán por haberme brindado su ayuda y orientación.

Mi agradecimiento al señor Gustavo Mejía, dueño de la mecánica automotriz Mejía que gracias a su gentileza y comprensión se logró obtener el material de estudio de la presente investigación.

Y por último para mis amigos, con los cuales viví y sigo viviendo gratos momentos, gracias siempre por su ayuda y apoyo.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal, evaluar el efecto de un consorcio microbiano en el suelo de la mecánica automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca. El estudio se llevó a cabo en tres partes: a). recolección de muestras del suelo y determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos iniciales del suelo, b). adecuación de unidades experimentales e inoculación del consorcio microbiano benéfico durante un periodo de 4 meses y 20 días, c). siembra de semillas de baby girasoles en las unidades experimentales. Se estableció un diseño experimental de 3 tratamientos al azar, en cajas de polipropileno, con dosis de consorcios microbianos benéficos T1= 25% CMB, T2=15% CMB y T3= testigo. Mediante los análisis de laboratorio se determinó las características: físicas, químicas, biológicas, hidrocarburos totales y aceites – grasas. El CMB T1=25%, presenta mejores resultados para la remoción de hidrocarburos totales con una línea base de 16000 ppm y después de la inoculación de CMB se obtuvo valores de 3980 ppm mientras, que para aceites-grasas se obtuvo una línea inicial de 1000000 ppm y luego de la inoculación su concentración fue de 250000 ppm. Para el análisis de crecimiento de la planta de baby girasol se tomó en cuenta tres variables: longitud de la raíz, altura del tallo y número de hojas en el cual se aplicó pruebas ANOVA y Tukey, utilizando el software Rstudio.

**Palabras clave:** Microorganismos, suelo, girasol, contaminación, hidrocarburos, mecánica.

## ABSTRACT

This work aimed to evaluate the microbial consortium effect in the soil of the “Mejia” car repair shop located in the city of Cuenca. The study was divided into three parts: a) collection of soil samples and determination of the initial physical, chemical, and biological parameters of it, b) adaptation of experimental units and inoculation of the beneficial microbial consortium during four months and 20 days, c) planting dwarf sunflower seeds in the experimental units. An experimental design of 3 randomized treatments was developed in polypropylene boxes with doses of beneficial microbial consortia T1= 25% CMB, T2=15% CMB, and T3= control. Laboratory analysis determined the following characteristics: physical, chemical, biological, total hydrocarbons, and oils and fats. The CMB T1=25% showed better results for the removal of total hydrocarbons with a baseline of 16,000 ppm, and after CMB inoculation, values of 3,980 ppm were obtained. An initial line of 1,000,000 ppm was obtained for oils and fats, and after the inoculation, its concentration was 2,500,000 ppm. Three variables were considered for the analysis of dwarf sunflower plant growth: root length, stem height, and the number of leaves, in which ANOVA and Tukey tests were applied using RStudio software.

**Keywords:** microorganisms, soil, contamination, hydrocarbons, mechanics

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABLAS .....	XII
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1    OBJETIVOS.....	- 3 -
1.1.1    OBJETIVO GENERAL.....	- 3 -
1.1.2    Objetivos Específicos .....	- 3 -
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>- 4 -</b>
2.1    MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	- 4 -
2.1.1    Generalidades.....	- 4 -
2.1.2    Funciones.....	- 4 -
2.1.3    Tipos de microorganismos.....	- 5 -
2.1.4    Inoculación de microorganismos.....	- 11 -
2.1.5    Consortio microbiano.....	- 11 -
2.1.6    Efecto del consorcio microbiano en la agricultura.....	- 12 -
2.2    BIORREMEDIACIÓN.....	- 12 -
2.2.1    Definición.....	- 12 -
2.2.2    Biorremediación con consorcios microbianos benéficos.....	- 13 -
2.2.3    Biorremediación con consorcios microbianos benéficos en suelos contaminados con hidrocarburos totales y aceites-grasas.....	- 13 -
2.3    SUELO.....	- 14 -
2.3.1    Definición.....	- 14 -
2.3.2    Funciones.....	- 14 -
2.3.3    Composición.....	- 15 -
2.4    CALIDAD.....	- 16 -
2.4.1    Indicadores físicos.....	- 16 -
2.4.2    Indicadores químicos.....	- 17 -
2.4.3    Indicadores biológicos.....	- 18 -
2.5    CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS.....	- 19 -
2.5.1    Generalidades.....	- 19 -
2.5.2    Hidrocarburos bigenéricos.....	- 20 -
2.5.3    Hidrocarburos antrópicos.....	- 20 -
2.5.4    Hidrocarburos totales.....	- 20 -
2.5.5    Efectos de los hidrocarburos totales en el suelo y ambiente.....	- 21 -

2.5.6	<i>Efectos de los hidrocarburos totales en la salud humana.</i>	- 21 -
2.6	ACEITES Y GRASAS.	- 22 -
2.6.1	<i>Efectos de los aceites y grasas en el suelo y ambiente.</i>	- 22 -
2.7	MECÁNICA AUTOMOTRIZ.	- 22 -
2.7.1	<i>Generalidades.</i>	- 22 -
2.7.2	<i>Residuos producidos.</i>	- 22 -
2.8	CULTIVO DEL BABY GIRASOL.	- 23 -
2.8.1	<i>Origen del girasol.</i>	- 23 -
2.8.2	<i>Características morfológicas del baby girasol.</i>	- 23 -
2.8.3	<i>Girasol big smile.</i>	- 24 -
2.8.4	<i>Importancia del girasol en el medio ambiente.</i>	- 24 -
2.8.5	<i>Remoción de hidrocarburos por girasoles.</i>	- 24 -
2.9	NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO.	- 25 -
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>- 27 -</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>- 27 -</b>
3.1	ZONA DE ESTUDIO.	- 27 -
3.2	TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.	- 28 -
3.2.1	<i>Tratamientos.</i>	- 28 -
3.2.3	<i>Diseño experimental.</i>	- 28 -
3.3	MATERIALES.	- 28 -
3.3.1	<i>Materiales para la recolección de muestras de suelo.</i>	- 28 -
3.3.2	<i>Materiales para la preparación de unidades experimentales.</i>	- 29 -
3.3.3	<i>Materiales para la aplicación del consorcio microbiano benéfico.</i>	- 29 -
3.4	RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE SUELO.	- 29 -
3.5	OBTENCIÓN DE CMB.	- 30 -
3.6	PREPARACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES Y APLICACIÓN DE DOSIS DE CMB.	- 30 -
3.6.1	<i>Acondicionamiento de las cajas.</i>	- 30 -
3.6.2	<i>Preparación de unidades experimentales.</i>	- 31 -
3.6.3	<i>Aplicación del consorcio microbiano benéfico (CMB).</i>	- 31 -
3.7	SIEMBRA DE LAS SEMILLAS DE BABY GIRASOL.	- 32 -
3.8	INCIDENCIA DEL CRECIMIENTO EN LAS PLANTAS DE BABY GIRASOL ( <i>HELIANTHUS ANNUS L.</i> ) APLICANDO CONSORCIOS MICROBIANOS EN SUELOS CONTAMINADOS	- 33 -
3.8.1	<i>Proceso de extracción y lavado de las raíces de la planta de baby girasol.</i>	- 33 -
3.8.2	<i>Longitud de raíces del baby girasol.</i>	- 34 -
3.8.3	<i>Medición de la altura de las plantas del baby girasol.</i>	- 34 -
3.8.4	<i>Número de hojas de la planta.</i>	- 35 -
3.9	OBTENCIÓN DE MUESTRAS FINALES DEL SUELO CON PRESENCIA DE CMB.	- 35 -
3.10	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	- 36 -
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>- 37 -</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>- 37 -</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN INICIAL Y FINAL DEL SUELO DE LA MECÁNICA AUTOMOTRIZ.	- 37 -
4.1.1	<i>Características físico-químicas.</i>	- 37 -
4.1.2	<i>Características biológicas.</i>	- 44 -
4.2	IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS.	- 49 -
4.3	EFFECTO DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LAS CONCENTRACIONES DE THP Y ACEITES- GRASAS.	- 52 -
4.3.1	<i>Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de hidrocarburos totales (TPH).</i>	- 52 -
4.3.2	<i>Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de aceites- grasas.</i>	- 54 -

4.4	COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES, ACEITES- GRASAS CON LA NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO.....	- 55 -
4.4.1	<i>Hidrocarburos Totales</i> .....	- 55 -
4.4.2	<i>Aceites y grasas</i> .....	- 57 -
4.5	INCIDENCIA DEL CONSORCIO MICROBIANO BENÉFICO EN EL CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE BABY GIRASOL.....	- 58 -
4.5.1	<i>Longitud de la raíz de la planta de baby girasol</i> .....	- 59 -
4.5.2	<i>Altura del tallo de la planta de baby girasol</i> .....	- 60 -
4.5.3	<i>Número de hojas de la planta de baby girasol</i> .....	- 62 -
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>- 64 -</b>
	<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>- 64 -</b>
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>- 66 -</b>
	<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>- 66 -</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>- 67 -</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>- 79 -</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Funciones de los microorganismos.....	- 4 -
<b>Figura 2.</b> <i>Actinomyces</i> spp. ....	- 5 -
<b>Figura 3.</b> <i>Bacillus subtilis</i> .....	- 6 -
<b>Figura 4.</b> <i>Fusarium</i> spp.....	- 6 -
<b>Figura 5.</b> <i>Streptomyces</i> sp.....	- 7 -
<b>Figura 6.</b> <i>Pseudomonas</i> .....	- 8 -
<b>Figura 7.</b> <i>Trichoderma</i> spp. ....	- 8 -
<b>Figura 8.</b> <i>Thiobactillus</i> sp.....	- 9 -
<b>Figura 9.</b> <i>Achoromobacter</i> sp. ....	- 9 -
<b>Figura 10.</b> <i>Pseudomona aeruginosa</i> .....	- 10 -
<b>Figura 11.</b> <i>Rhodococcus</i> sp.....	- 11 -
<b>Figura 12.</b> Multicultivo de diferentes microorganismos .....	- 12 -
<b>Figura 13.</b> Componentes del suelo.....	- 15 -
<b>Figura 14.</b> Cadena policíclica de hidrocarburos .....	- 20 -
<b>Figura 15.</b> Flores de girasol big smile.....	- 24 -
<b>Figura 16.</b> Ubicación de la zona de estudio de la mecánica automotriz Mejía. ....	- 27 -
<b>Figura 17.</b> Esquema de distribución de las unidades experimentales. ....	- 28 -
<b>Figura 18.</b> Esquema para la recolección de muestras de suelo zig-zag. ....	- 29 -
<b>Figura 19.</b> Muestra compuesta del total del suelo recolectado. ....	- 29 -
<b>Figura 20.</b> Consorcio microbiano listo para su uso. ....	- 30 -
<b>Figura 21.</b> Cajas preparadas para colocar las muestras de suelo. ....	- 31 -
<b>Figura 22.</b> Proceso de pesaje del suelo. ....	- 31 -
<b>Figura 23.</b> Unidades experimentales listas para la aplicación de CMB. ....	- 31 -
<b>Figura 24.</b> Determinación de la medida. ....	- 32 -
<b>Figura 25.</b> Riego con consorcio microbiano benéfico. ....	- 32 -
<b>Figura 26.</b> Siembra de las semillas de baby girasol.....	- 33 -
<b>Figura 27.</b> Riego de CMB después de la siembra.....	- 33 -
<b>Figura 28.</b> Lavado de las raíces de las plantas.....	- 34 -
<b>Figura 29.</b> Medición de la raíz de las plantas.....	- 34 -
<b>Figura 30.</b> Comparación de la altura de los diferentes tratamientos.....	- 35 -
<b>Figura 31.</b> Número de hojas de la planta de baby girasol.....	- 35 -
<b>Figura 32.</b> Muestras finales de suelo para enviar al laboratorio. ....	- 36 -
<b>Figura 33.</b> Niveles de potencial de hidrogeno (pH), línea base y tres tratamientos. ....	- 38 -
<b>Figura 34.</b> Niveles de conductividad eléctrica (C.E), línea base y tres tratamientos. ....	- 39 -
<b>Figura 35.</b> Niveles de materia orgánica, línea base y tres tratamientos. ....	- 40 -
<b>Figura 36.</b> Niveles de nitrógeno, línea base y los tres tratamientos. ....	- 41 -
<b>Figura 37.</b> Niveles de fosforo, línea base y tres tratamientos. ....	- 42 -
<b>Figura 38.</b> Niveles de potasio, línea base y tres tratamientos. ....	- 43 -
<b>Figura 39.</b> Niveles de magnesio, línea base y tres tratamientos. ....	- 44 -
<b>Figura 40.</b> Concentraciones de <i>Actinomyces</i> sp., línea base y tres tratamientos. ....	- 45 -
<b>Figura 41.</b> Concentraciones de <i>Bacillus subtilis</i> ., línea base y tres tratamientos. ....	- 46 -
<b>Figura 42.</b> Concentraciones de <i>Fusarium</i> sp. línea base y tres tratamientos.....	- 47 -
<b>Figura 43.</b> Concentraciones de <i>Trichoderma</i> spp. línea base y los tres tratamientos.....	- 48 -
<b>Figura 44.</b> Concentraciones de <i>Achoromobacter</i> , en los tres tratamientos. ....	- 49 -
<b>Figura 45.</b> Concetraciones de <i>P. aeruginosa</i> ., en los tres tratamientos. ....	- 50 -
<b>Figura 46.</b> Concentraciones de <i>Rhodococcus</i> ., en los tres tratamientos.....	- 51 -
<b>Figura 47.</b> Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de los hidrocarburos totales.....	- 53 -
<b>Figura 48.</b> Niveles de remoción de aceites – grasas del suelo de la mecánica automotriz. ....	- 54 -
<b>Figura 49.</b> Niveles de THP con respecto a la normativa de calidad ambiental suelo. ....	- 56 -
<b>Figura 50.</b> Niveles de aceites–grasas con respecto a la normativa de calidad ambiental suelo. ....	- 58 -

**Figura 51.**Diagrama de cajas de la longitud de raíces de las plantas de baby girasol. .... - 60 -  
**Figura 52.**Diagrama de cajas de la altura del tallo de las plantas de baby girasol. .... - 61 -  
**Figura 53.**Diagrama de cajas número de hojas de la planta de baby girasol. .... - 62 -

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del girasol. _____	- 23 -
<b>Tabla 2.</b> Criterios de calidad del suelo. _____	- 26 -
<b>Tabla 3.</b> Descripción de los tratamientos. _____	- 28 -
<b>Tabla 4.</b> Descripción de tratamientos aplicados en las unidades experimentales. _____	- 37 -
<b>Tabla 5.</b> Resultados de las características físico-químicas del suelo. _____	- 37 -
<b>Tabla 6.</b> Resultados de las características biológicas. _____	- 44 -
<b>Tabla 7.</b> Resultados iniciales de concentraciones de hidrocarburos totales del suelo. _____	- 52 -
<b>Tabla 8.</b> Resultados de porcentaje de absorción de hidrocarburos totales. _____	- 52 -
<b>Tabla 9.</b> Resultados iniciales de aceites-grasas del suelo. _____	- 54 -
<b>Tabla 10.</b> Resultados de porcentaje de absorción de aceites-grasas. _____	- 54 -
<b>Tabla 11.</b> Resultados de hidrocarburos totales del suelo de la mecánica. _____	- 55 -
<b>Tabla 12.</b> Valores máximos permisibles de hidrocarburos totales. _____	- 56 -
<b>Tabla 13.</b> Resultados de aceites y grasas del suelo de la mecánica. _____	- 57 -
<b>Tabla 14.</b> Criterios de remediación de aceites y grasas. _____	- 57 -
<b>Tabla 15.</b> Resultados obtenidos de la longitud de la raíz en la prueba ANOVA. _____	- 60 -
<b>Tabla 16.</b> Resultados obtenidos de la longitud del tallo en la prueba ANOVA. _____	- 61 -
<b>Tabla 17.</b> Resultados obtenidos de la longitud del tallo en la prueba Tukey. _____	- 62 -
<b>Tabla 18.</b> Resultados obtenidos del número de hojas en la prueba ANOVA. _____	- 63 -

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> <i>Recopilación fotográfica.</i> _____	- 79 -
<b>Anexo 2.</b> <i>Análisis inicial y final de las muestras de suelo de la mecánica automotriz Mejía.</i> ____	- 82 -
<b>Anexo 3.</b> <i>Criterios de remediación del suelo (valores máximos permisibles).</i> _____	- 88 -

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo se ha convertido en un problema de carácter mundial. Por tal motivo, se deben tomar en cuenta los factores antropogénicos que inciden en este asunto. Este estudio busca centrarse en aquellos factores que se enfocan en la contaminación del suelo mediante sustancias líquidas derivadas del petróleo. Estas sustancias generalmente son extrañas a la composición natural del suelo. Se tiene como ejemplo: hidrocarburos, aceites, grasas y otros (Martínez & López, 2001).

Mendoza & Flores (2017), indican que los hidrocarburos provocan una serie de cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Cabe considerar que también inciden diversos factores tales como: el tipo, la cantidad del derrame del hidrocarburo, temperatura, textura del suelo y la humedad. Esto genera distorsión de los procesos físicos, químicos y biológicos y en consecuencia un mayor grado de toxicidad.

Las actividades económicas que tienen un mayor impacto en la contaminación del suelo son las relacionadas a actividades: industriales, químicas, metalúrgicas, cementeras entre otras. En cuanto a contaminación por hidrocarburos, son de mayor impacto las actividades que tienen relación con vehículos cuyo motor sea de combustión interna. Entre ellas tenemos el sector del transporte, generadores eléctricos basados en diésel, talleres de mantenimiento y refacción vehicular (Hernández, 2015).

En Ecuador, existe una escasa reglamentación por parte de las autoridades en lo que respecta al funcionamiento de talleres automotrices. En la gran mayoría de los casos, el manejo de los desechos, protocolos de seguridad y mantenimiento de instalaciones se realizan de forma “artesanal” o ineficiente. En la ciudad de Cuenca existen 312 talleres automotrices autorizados para el mantenimiento de vehículos livianos según los datos del Control Municipal del cantón Cuenca, pero muchos talleres no están en un registro oficial y más aún se desconoce el grado de contaminación que provocan al medio ambiente (Sandoval et al., 2020).

Por tal motivo, es importante llevar a cabo actividades remediadoras de suelos ya que estos vienen siendo alterados de forma continua y de distintas maneras, afectando a otros ambientes terrestres y acuáticos, es por ello por lo que se buscan soluciones efectivas e innovadoras pero que sobre todo ayuden a minimizar el daño, con un valor económico bajo, con técnicas que contrarresten el impacto ambiental que generan las mecánicas automotrices hacia el suelo (Silva & Correa, 2009).

En el siguiente trabajo de investigación se hizo uso de un consorcio microbiano (microorganismos benéficos) el cual, se encontraba constituido por varios microorganismos entre los principales tenemos: levaduras, bacterias foto tróficas, bacterias generadoras de ácido láctico y hongos de fermentación (Toalombo, 2012). Los cuales son microorganismos anaeróbicos y aeróbicos capaces de proliferar en cualquier tipo de ecosistema, se los puede aplicar como

inoculante para incrementar la diversidad microbiana del suelo, además poseen la capacidad de eliminar pesticidas y generar componentes bioactivos (enzimas, hormonas y vitaminas) que estimulan el desarrollo de los cultivos, también son empleados para limpiar ambientes contaminados por medio de degradación o transformación de diferentes compuestos nocivos a otros de menor toxicidad (Toalombo, 2012).

Por lo mencionado anteriormente este trabajo de investigación, tuvo como objetivo determinar la incidencia de un consorcio microbiano del suelo proveniente de la mecánica automotriz Mejía, sobre la disminución de hidrocarburos totales y aceites-grasas y su repercusión en el crecimiento de los baby girasoles.

## **1.1 Objetivos.**

### **1.1.1 Objetivo General.**

Determinar la incidencia de un consorcio microbiano del suelo contaminado por hidrocarburos de la mecánica automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca, sobre la disminución de hidrocarburos totales y aceites-grasas y su repercusión en el crecimiento de los baby girasoles.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar mediante análisis de laboratorio las características iniciales del suelo posiblemente contaminado a través de un análisis físico-químico y biológico.
- Evaluar el efecto de la dosis aplicada del consorcio microbiano mediante la cuantificación del valor final de hidrocarburos en las muestras de suelo.
- Comparar las concentraciones de hidrocarburos totales - aceites y grasas iniciales y finales si están dentro de la Normativa Calidad Ambiental del Recurso Suelo.
- Evaluación del crecimiento de baby girasol mediante pruebas de campo en suelos remediados procedente de la mecánica automotriz.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Microorganismos benéficos.

##### 2.1.1 Generalidades.

Toalombo (2012), menciona que los microorganismos benéficos fueron desarrollados durante la década de los 70, bajo la asesoría del profesor Teruo Higa de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. Constituidos por tres tipos de microorganismo como: bacterias fotosintéticas, levaduras y bacterias ácido lácticas, produciendo una sinergia metabólica.

Condori (2021), indica que son una combinación de microorganismos benéficos constituida por cuatro grupos: levaduras, bacterias fototróficas y bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. Cuando ingresan al suelo son capaces de mejorar la calidad de la macro y micro flora del suelo, la materia orgánica produce sustancias con beneficios como: ácidos orgánicos, minerales quelatados, vitaminas y sustancias antioxidantes.

Alvarez (2018), menciona que los microorganismos benéficos, están constituidos por un grupo amplio de microorganismos, que aún son desconocidos o están mal definidos, presentando interacciones favorables en suelos y plantas.

##### 2.1.2 Funciones.

Alvarez (2018), señala que los microorganismos benéficos tienen un rol importante en modelos de producción como se observa en la figura 1, porque aportan al desarrollo de diferentes métodos agrícolas ecológicos entre las funciones más importantes tenemos las siguientes:

- Promotores de crecimiento de las plantas que actúan como biofertilizantes.
- Ayudan en la descomposición de desechos orgánicos y fijación de nitrógeno.
- Sirven como control biológico, los cuales ayudan a proteger a las plantas contra patógenos.
- Crecimiento y producción de fitohormonas.



Figura 1. Funciones de los microorganismos.

Fuente: (Tarazona, 2021)

### 2.1.3 Tipos de microorganismos.

Toalombo (2012), entre los principales microorganismos de un CMB predominan: las bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*), lactobacilos (*L. plantarum*, *L. casei* y *Streptococcus lactis*), levadura (*Saccharomyces* spp.) y actinomicetos (*Streptomyces* spp). Balarezo (2019), las bacterias fotosintéticas son microorganismos autosuficientes e independientes, se encargan de sintetizar las sustancias útiles que se producen por la secreción de las raíces, materia orgánica o gases perjudiciales, utilizan a la luz natural y el calor que proviene del suelo como principales fuentes de energía.

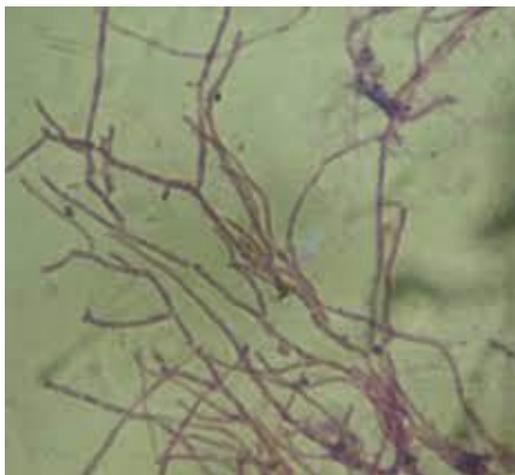
Feijoo (2016), menciona que las levaduras son encargadas de sintetizar sustancias antimicrobiales u otras sustancias, que son necesarias para el desarrollo de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares, que son expulsadas por las bacterias fotosintéticas, materia orgánica y las raíces de las plantas; en cambio las bacterias ácido lácticas generan ácidos lácticos a base de azúcares u otros carbohidratos, que son desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras.

Higa (2013), indica que los hongos de fermentación intervienen descomponiendo la materia orgánica, de una manera rápida para así producir alcohol ésteres o sustancias antimicrobianas.

#### a. *Actinomyces* spp.

*Actinomyces* es un género de bacterias de tipo gram positivo algunas especies son anaerobias, mientras que otras son facultativas anaerobias (Figura 2) (Chanqueo & Morales, 2019).

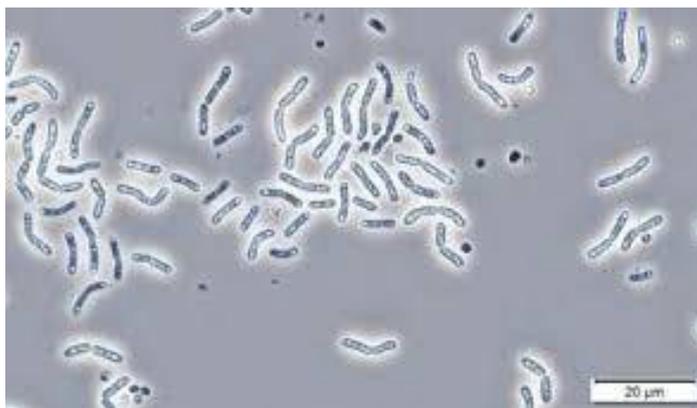
Los *actinomyces* representan un grupo ubicuo de microorganismos ampliamente distribuido en ecosistemas naturales y tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, además de ciertas propiedades fisiológicas que los hacen particulares (Franco, 2010).



**Figura 2.** *Actinomyces* spp.  
**Fuente:** (L. A. M. Salazar et al., 2014)

**b. *Bacillus subtilis*.**

*Bacillus subtilis* es una bacteria cosmopolita gram positiva presente, en numerosos hábitats y resulta ser un excelente agente de control biológico de enfermedades causadas por hongos y bacterias (Figura 3). Se sitúan en un rango de pH 5-8 y a una T de 15 a 50 °C, con un óptimo de 28 a 35°C con valores altos de humedad relativa. *Bacillus subtilis* ha demostrado ser capaz de controlar *Fusarium spp*, *Pythium spp*, *Phytophthora spp*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia spp.*, *Verticillium dahliae*, *Botrytis cinérea*, *Alternaría* y *Erwinia spp* (Hurtado, 2016).



**Figura 3.** *Bacillus subtilis*

Fuente:(Moal et al., 2020)

**c. *Fusarium sp.***

Es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas como se observa en la figura 4, las especies de *fusarium* son saprofitas en algunas de sus fases de crecimiento y pueden o no desarrollar, una fase de reproducción sexual según la especie ( Villalobos, 2015).

*Fusarium sp.* es un patógeno causante de severas enfermedades en las plantas, provoca descensos en la producción y finalmente la muerte de los vegetales (Alvarez, 2018).



**Figura 4.** *Fusarium spp*

Fuente: (Quiñonez, 2018)

**d. *Streptomyces sp.***

Los *Streptomyces sp* son bacterias aerobias gram positivas, se encuentran en el suelo y en la vegetación en descomposición, producen esporas y se destacan por su distintivo olor a “tierra” que resulta de la producción de un metabolito volátil (Figura 5) (Bueno et al., 2003).



**Figura 5.** *Streptomyces sp*

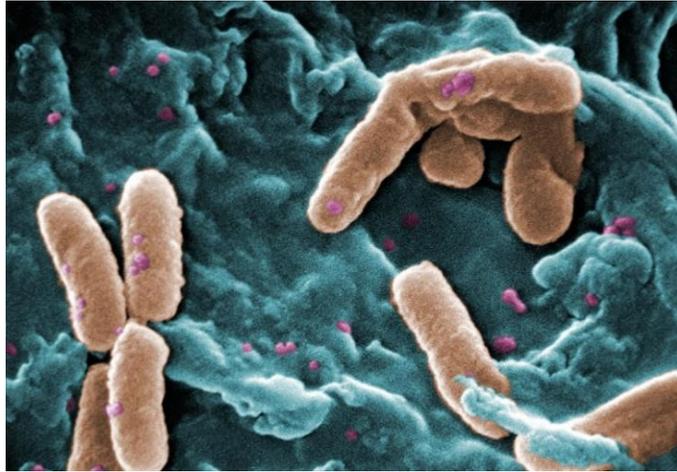
**Fuente:** (Adjimani & Thomas, 1988)

**e. *Pseudomonas.***

Las *Pseudomonas* son bacterias gram-negativas no formadoras de esporas con forma de bacilo y con uno más flagelos polares, actúan de una doble manera sobre los cultivos: promueven el crecimiento vegetal y suprimen a los microorganismos patógenos. Hay sugerido que estimulan el establecimiento de otros microorganismos beneficiosos asociados a las raíces como: las micorrizas (Figura 6) (Pinzón, 2009).

Además de su capacidad única para degradar compuestos orgánicos, las *pseudomonas* también son bien conocidas por su mayor tolerancia a condiciones ambientales desfavorables al crecimiento de muchas bacterias. Estos incluyen ambientes de salinidad moderada tales como: agua marina, ambientes que contienen sustancias tóxicas tales como: compuestos orgánicos volátiles (VOC) entre otros (Reuter, 2018).

Las *pseudomonas* son mesófilas que crecen óptimamente bajo condiciones aerobias y de pH neutro. Sin embargo, estos microorganismos demuestran una actividad metabólica significativa en ambientes ligeramente ácidos y alcalinos y crecerán, aunque con menor rapidez, a temperaturas inferiores a 20 °C (Reuter, 2018).



**Figura 6.** *Pseudomonas*  
**Fuente:** (Sánchez & Guerra, 2022)

**f. *Trichoderma spp.***

*Trichoderma* es un hongo cosmopolita cuya importancia radica en su capacidad de adaptación y producción de metabolitos, como enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal y compuestos volátiles, entre otros, de interés biotecnológico y ambiental. Este género se ha utilizado como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, destacando la antibiosis, el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, y la producción de metabolitos secundarios (Figura 7) (Hernández-Melchor et al., 2019).



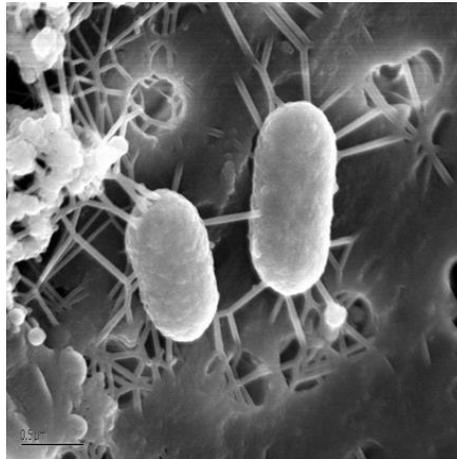
**Figura 7.** *Trichoderma spp.*

**Fuente:** (Chávez et al., 2020)

**g. *Thiobactillus sp.***

Es un grupo de bacterias oxidantes de azufre, que se cree que juegan un papel importante en el ciclo de azufre. En la agricultura, se cree que aumentan la disponibilidad y absorción de nutrientes como: azufre, fósforo, hierro y zinc. También, se utilizó en la recuperación de suelos

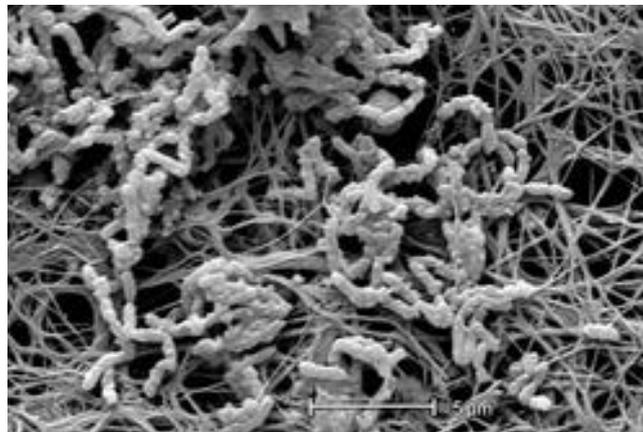
afectados por salinidad, sodicidad, alcalinidad y contaminación por metales pesados (Figura 8) (Kumar & Mahendra, 2020).



**Figura 8.** *Thiobactillus sp.*  
**Fuente:** (Vrdoijak, 2018).

#### ***h. Achromobacter sp.***

Es una bacteria gram negativa, aeróbica generalmente se encuentra en ambientes húmedos. Poseen la capacidad de utilizar los hidrocarburos como única fuente de carbono y energía involucrándose en la degradación de hidrocarburos poliaromáticos como el fenantreno (Figura 9)(Sakurad, 2012).



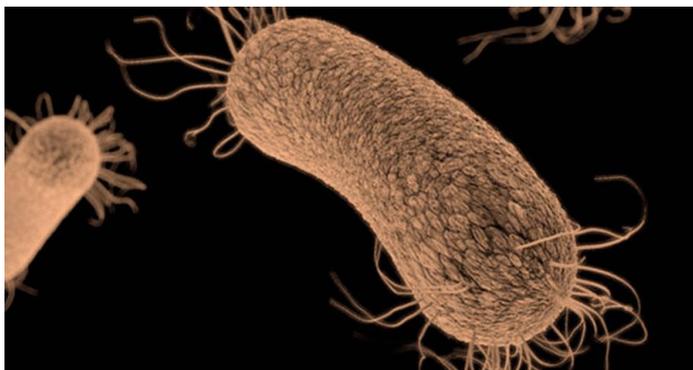
**Figura 9.** *Achoromobacter sp.*  
**Fuente:** (Sakurad, 2012).

#### ***i. Pseudomonas aeruginosa.***

La *pseudonoma aeruginosa* es una bacteria gram-negativa que se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza como se observa en la figura 10 por otra parte, esta bacteria es capaz de utilizar una enorme variedad de compuestos orgánicos como sustrato para crecer, capacidad

que le permite colonizar nichos en los que son escasos los nutrientes que otros organismos pueden asimilar (Soberón, 2018).

Además, se sabe que es uno de los pocos microorganismos capaces de degradar compuestos contaminantes como los alcanos de cadena ramificada, que producen biosurfactantes que son útiles para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos o metales pesados (Luján, 2019).



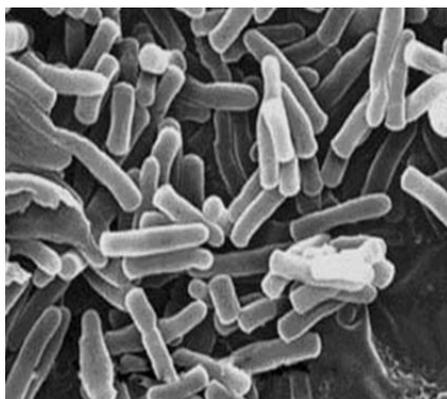
**Figura 10.** *Pseudomonas aeruginosa*

**Fuente:** (Ramos, 2018)

**j. *Rhodococcus spp.***

*Rhodococcus spp.*, es un género de bacterias gram-positivas aerobias como se observa en la figura 11, se los encuentra distribuidos en el medio ambiente particularmente en suelo, reservorios de agua, ríos, lagos y otros ambientes acuáticos. La diversidad metabólica que presenta los microorganismos del género *Rhodococcus*, los hace ser candidatos ideales para su utilización en bioprocesos, con un gran potencial tanto en aplicaciones industriales como ambientales (Castillo, 2022).

Las aplicaciones de los microorganismos del género *Rhodococcus* son muy diversas: son capaces de degradar limoneno, ciclohexanol, atrazina, dibenzotiofeno, acetileno, estireno, hidrocarburos, benzonitrilo. Se les relaciona con una gran variedad de procesos de biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos. Son capaces de utilizar a los hidrocarburos como fuente de carbono (Sánchez et al., 2004).



**Figura 11.** *Rhodococcus sp.*

Fuente: (Castro, 2016).

#### **2.1.4 Inoculación de microorganismos.**

Feijoo (2016), menciona que como inoculante los microorganismos garantizan una mejor eficiencia, en las características físicas y químicas, mejoran el nivel de actividad microbiológica en el suelo, el nivel de producción de los cultivos es más eficaz.

Alvarez (2018) (Higa & Parr, 1994), señala para tener éxito en la inoculación de microorganismos en el suelo” *Es necesario conocer el crecimiento individual y características de sobrevivencia de cada microorganismo benéfico en particular, incluyendo sus requerimientos nutricionales y medioambientes* “

#### **2.1.5 Consorcio microbiano.**

Un consorcio microbiano benéfico (CMB) es un multicultivo de diferentes grupos de microorganismos, anaerobios y aerobios, como se visualiza en la figura 12, en coexistencia sinérgica se relacionan de forma simbiótica, generando efectos positivos para el ambiente (Vera, 2016). El concepto de consorcio microbiano benéfico fue desarrollado por el Dr. Teruo Higa de la Universidad de las Ryukyus en Okinawa, Japón, consiste en una mezcla de microorganismos que habitan naturalmente en el suelo del que se puede aislar y aplicarse como inoculante (Rojas, 2014).



**Figura 12.**Multicultivo de diferentes microorganismos

**Fuente:** Autor.

Actúan en comunidad y el nivel de supervivencia es más resistente a las fluctuaciones del medio ambiente. El nivel de comunicación de los microorganismos se basa en el intercambio mutuo de sustancias o caracteres moleculares. Provocando, que cada comunidad de consorcios microbianos se manifieste y responda a la presencia de otros consorcios, ejecutando una intervención positiva (Ochoa & Montoya, 2010).

#### **2.1.6 Efecto del consorcio microbiano en la agricultura.**

El uso de consorcios microbianos en la agricultura, es una opción sustentable para remediar suelos y conseguir el crecimiento eficaz de las plantas. El consorcio microbiano, participa como un medio regular del ciclo biogeoquímico y mantiene un equilibrio en los suelos (Valparaiso., 2020).

Alvarez (2018), indica que microorganismos de los géneros: *Penicilium*, *Aspergillus*, *Bacillus* y *Pseudomas*, son capaces de solubizar el fósforo orgánico presente en el suelo. Además, contienen mejores manejos de nutrientes, plagas y enfermedades, por lo que el uso de plaguicidas, fungicidas, entre otros cada vez es menos su uso.

## **2.2 Biorremediación.**

### **2.2.1 Definición.**

El termino biorremediación se implementó en la década de los 80, y proviene del concepto de remediación es un proceso que ayuda a reducir niveles de contaminación presentes en el suelo, aplicando diferentes técnicas amigables y sustentables con el medio ambiente, una de las prácticas mayormente utilizadas es el uso de microorganismos (Iturbe, 2010).

El papel que cumple la biorremediación al momento de usar microorganismos, es estimular con nutrientes y diferentes compuestos para que puedan actuar de manera más eficaz, durante este

tiempo las enzimas microbianas tienen una relación directa con la transformación y degradación de los contaminantes (Cota-Ruiz et al., 2018).

Muchos de los microorganismos que habitan en el suelo son capaces de alimentarse, de compuestos químicos tóxicos para el medio ambiente entre ellos los hidrocarburos (gasolina, petróleo, aceites, etc.) (Cando, 2011).

Los procesos de biorremediación comúnmente involucran reacciones de oxidación, donde los contaminantes reducidos se oxidan y los contaminantes oxidados reducen. Hay muchos tipos de diferentes contaminantes que pueden eliminarse con esta técnica: hidrocarburos aromáticos policíclicos, petróleo, pesticidas, clorofenoles, metales pesados, colorantes, sulfatos, etc (UNAM, 2006).

### **2.2.2 Biorremediación con consorcios microbianos benéficos.**

Mediante los procesos de biorremediación se ha verificado que cepas puras o conjuntos de consorcios microbianos, presentan la capacidad de degradar HAP's los cuales son usados como fuente principal al carbono. Los hongos también, cumplen un rol importante en la biorremediación puede ser de forma independiente o en grupo a través, de la biotransformación de los contaminantes con un proceso final de mineralización y con generación de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> para procesos aerobios, mientras que para procesos anaerobios se obtiene CH<sub>4</sub> (Tirado -Torres et al., 2015).

De acuerdo con Alvarez (2018), la biorremediación con presencia de consorcios microbianos benéficos es considerado un proceso, donde se hace uso del potencial metabólico de los microorganismos, con el objetivo de limpiar ambientes que se encuentran contaminados.

Benavides et al. (2006), señala que mediante investigaciones ejecutadas con secuencias de genes de 16S-RNA, se evidenció la existencia de consorcios microbianos bacterianos degradadores de hidrocarburos con la presencia de: *Pseudomonas ssp.*, *Bacillus pumilis*, *Acinetobacter junii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus fusiformis*, *Bacillus sphaericus*.

### **2.2.3 Biorremediación con consorcios microbianos benéficos en suelos contaminados con hidrocarburos totales y aceites-grasas.**

Los procesos de biorremediación de hidrocarburos totales, aceite-grasas se ejecutan principalmente por: bacterias, hongos, levaduras, algas y entre otras. Verificando que los niveles van desde 0,13% hasta un 50% con respecto a bacterias, para hongos desde 6% hasta 82%, dependiendo de las condiciones del lugar por lo cual puede existir variaciones (Ñustez, 2012).

Un extenso rango de microorganismos utiliza diferentes hidrocarburos, como única fuente de carbono y se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. De todos los organismos vivos que se utilizan en la tecnología de biorremediación, las bacterias heterótrofas aerobias conforman el grupo mejor estudiado. Los microorganismos anaerobios por su parte son menos flexibles a adaptarse a la disponibilidad de sustratos y son menos tolerantes a la presencia de metales pesados, por lo que su papel en la biodegradación se encuentra limitado (Barrios, 2011).

El género bacteriano *Rhodococcus*, es considerado como el único grupo que posee diversidad metabólica, con la capacidad de biodegradar y utilizar como fuente de energía a los compuestos hidrófobos mientras, que las *Pseudomonas fluorescens.*, son capaces de degradar naftaleno y fenantreno (Alvarez et al., 2018).

*Pseudomona eruginosa* es de los pocos organismos capaces de degradar alcanos de cadena ramificada. Durante la biodegradación ocurren dos eventos principales: el consumo del sustrato y el crecimiento microbiano, los cuales están estrechamente relacionados. La respuesta de los microorganismos degradadores de hidrocarburos a un agente surfactante dependerá de una serie de factores tales como la ultraestructura celular, la capacidad de biodegradación o flujo de salida, concentración del surfactante y la biodisponibilidad (Riojas et al., 2010).

Algunos factores ambientales influyen en la biodegradación del hidrocarburo de los cuales se destacan: la presencia de nutrientes, oxígeno, humedad y una adecuada temperatura. Si se aplican surfactantes junto con los factores ambientales antes mencionados, se puede incrementar considerablemente el proceso de biorremediación (Reuter, 2018). La capacidad que poseen los consorcios microbianos es eficiente, porque está basada en el crecimiento de los microorganismos en base a la utilización de sustancias recalcitrantes para el ambiente (Ortiz et al., 2014).

## **2.3 Suelo.**

### **2.3.1 Definición.**

La palabra suelo proviene del latín “*Solum*”, que significa planta de pie (Mendoza, 2019), concepto que se define generalmente en la capa de tierra, en donde crecen las raíces de las plantas extrayendo el alimento y agua necesaria para su desarrollo (Konijnenburg, 2006).

También, el suelo es considerado como una capa sólida que cubre la superficie de la tierra, la cual se encuentra compuesta por material mineral orgánico, sólido, líquido, gaseoso, flora y fauna microbiana (Volke & Velasco, 2005), se caracteriza por tener diferentes horizontes o capas que son el resultado de las transformaciones de pérdida de materia y energía, durante el transcurso del tiempo (Volke & Trejo, 2002). La formación del suelo se debe a diferentes factores entre ellos por la desintegración de rocas, cambios bruscos de temperatura, humedad, seres vivos y aire (Hudson, 2006).

El suelo es un recurso indispensable para la vida, los servicios ambientales que ofrece hacen posible la producción de alimentos, reutilización de nutrientes y almacenamiento de carbono orgánico. Los suelos no son iguales en todas las regiones, para poderlos diferenciar se debe conocer los factores y procesos que denominan el modelo del desarrollo evolutivo (García, 2011).

### **2.3.2 Funciones.**

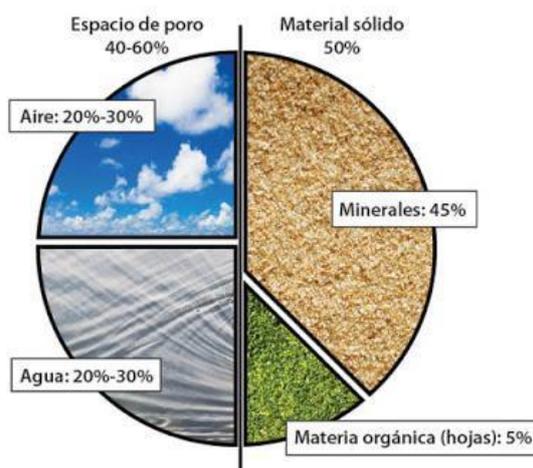
El suelo cumple un rol sumamente importante, por las funciones que se ejecutan en relación con el ambiente, en el que se dan los ciclos biogeoquímicos permitiendo todas las formas de vida

en la tierra. De acuerdo a Seybold et al. (199d. C.), el suelo presenta seis funciones principales, las cuales tres se basan en la naturaleza de los procesos ecológicos y las tres restantes se relacionan con las actividades humanas.

- Productividad de alimentos y biomasa
- Ciclos biogeoquímicos
- Almacenamiento o fijación de carbono.
- Almacenamiento y filtración de agua.
- Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas.
- Reserva de biodiversidad.

### 2.3.3 Composición.

El suelo se encuentra constituido por: minerales, materia orgánica, aire y agua en diferentes proporciones, como se observa en la figura 13. De los cuales el 50% corresponde a la fase sólida, 25% gases y el otro 25% ocupado por agua (Pereira et al., 2011).



**Figura 13.** Componentes del suelo

**Autor:** (Agroquímicos Arca, 2018)

#### **a. Minerales y arcillas.**

La mayor parte de minerales son de silicatos característico de las arcillas. El proceso de formación se fundamenta en diferentes modificaciones estructurales, lo que origina nuevas estructuras de silicato. La presencia de arcilla en el suelo ocasiona que el suelo tenga una mejor estructura, aportando a la fertilidad de los suelos y al intercambio catiónico (FAO, 1997).

#### **b. Componentes orgánicos.**

Tiene su origen en restos de animales y vegetales que se colocan en el suelo se genera una transformación, los restos se apilan y se destruyen de una forma mecánica donde los microorganismos empiezan con su proceso de descomposición hasta dejar lista la materia orgánica (Pereira et al., 2011).

### **c. Agua y aire.**

Elementos esenciales para el desarrollo de los microorganismos presentes en el suelo, en donde el agua cumple el rol de:

- Ayuda en la estimulación de los microorganismos.
- Ayuda a la regularización de la temperatura y aireación.
- Estimulación de las semillas para la germinación, entre otras.

Con respecto al aire del suelo los mismos elementos son los de la atmósfera, pero en diferentes niveles como el: oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico y vapor de agua (Konijnenburg, 2006).

## **2.4 Calidad.**

Es la capacidad de un tipo específico de suelo con alguna función sirve para sostener la productividad del mismo beneficio de otros. El término “calidad de suelo” se empezó a utilizar cuando reconoció las funciones de este como lo menciona (Bloem et al., 2009) citado por (García & Ramírez, 2012), las cuales son las siguientes:

- Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad sostenible).
- Atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos (calidad ambiental).
- Favorecer la salud de las plantas, los animales y los humanos.

### **2.4.1 Indicadores físicos.**

La calidad física del suelo se relaciona con el uso eficiente del agua, nutrientes y los pesticidas reduciendo el efecto invernadero y generando la producción agrícola. Esta calidad no se puede medir de forma directa, pero se deduce a través de indicadores de calidad (estadísticos o dinámicos) (Toresani et al., 2017). La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada (García & Ramírez, 2012).

#### **a. Estructura.**

Es la forma de cómo se agrupan las partículas de una manera individual como de arena, arcilla, limo al momento de que las partículas individuales se agrupan toman la forma de partículas mucho mayores, las cuales tienen el nombre de agregados (Jaramillo, 2002).

Los factores que determinan la estructura son la textura y el contenido de la materia orgánica, lo cual genera la diferencia de los distintos tipos de suelo (M. H. Ramón et al., 2010).

- **Estructuras granulares.**

Este tipo de estructura se caracteriza por tener pequeñas poliédricas regulares o esferoides organizándose desde un punto fijo donde no suelen acomodarse a otras estructuras vecinas dado que pueden llegar a ser planas o curvas, esta estructura suele aparecer cuando existe poca

aparición de arcilla y aumenta significativamente cuando hay procesos de floculación (M. Ramón et al., 2009).

- **Estructuras en bloques o bloques subangulares.**

Este tipo de estructura se caracteriza por tener muy bajo nivel de materia orgánica donde su capa evidentemente tiene una forma poliédrica con superficies no muy planas, donde poseen un tipo de aristas romas y en algunos casos no poseen una formación de vértices, además, este tipo de estructura tiene la capacidad de ajustarse al tipo de estructura vecina donde su principal virtud es que si existen bloques grandes el suelo se convierte en impermeable (Ortega & Martínez, 2022).

- **Estructuras prismáticas y columnares**

La característica de esta estructura es que está bien definida en el plano vertical y bastante limitada en la horizontal, por lo general suelen caracterizarse por tener superficies planas y con alguna forma redondeada, mientras que, se agrega la estructura columnar a esta debido a que suelen tener un casquete o cubierta (ONU, 2009).

- **Estructura laminar**

Esta tipo de estructura se caracteriza por poseer posiciones de láminas de manera vertical bastante limitadas estando direccionado a estar más en un plano horizontal, además de que estas estructuras tienden a estar una sobre la otra, estos tipos de suelo por lo general aparecen en terrenos arenosos (ONU, 2009).

- b. Densidad aparente.**

Se basa en la masa del suelo, representa la compactación del suelo indicando la relación de sólidos y el espacio poroso. Ayuda a evaluar la solidez del suelo con respecto a la elongación de las raíces de las plantas ( Rojas, 2012).

- c. Almacenamiento de agua.**

Contenido de humedad de la tierra, luego de haberse ocasionado un evento de riego o de lluvia (Sandoval, 1989).

- d. Color.**

El color en el suelo es un indicador usado comúnmente para describir el estado actual del suelo, para registrar y describir los distintos grupos genéticos. La coloración del suelo se define en base al contenido y del estado de mineralización de magnesio, fierro, y materia orgánica (Fertilab, 2018).

#### **2.4.2 Indicadores químicos.**

Entre los indicadores químicos encontramos la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (García & Ramírez, 2012).

#### **a. pH.**

Potencial de hidrógeno (pH), es una medida de acidez que indica los niveles de pH bajo= alcalinidad o ácido, pH alto=alcalino o básico (Bárbaro et al., 2005). Indican la actividad de iones de hidrógeno en soluciones del suelo, el pH del suelo influye en diferentes aspectos del suelo (ONU, 2019).

#### **b. Materia orgánica.**

La materia orgánica representa el 5% de nitrógeno, además, de contener varios elementos indispensables para el suelo y plantas como son: azufre, calcio, fósforo, magnesio y micronutrientes, la M.O en los suelos se presenta en dos fases mineralización y humificación las cuales son esenciales para los microorganismos presentes en el suelo la materia orgánica facilita la fertilidad, absorción del suelo (Julca et al., 2006).

La materia orgánica forma parte de la composición del suelo siendo uno de los componentes fundamentales que establece: la productividad, fertilidad susceptibilidad de erosión, calidad, disponibilidad y absorción de agua, compactación, la resistencia de plantas, almacena y suministra los nutrientes de las mismas favoreciendo la compactación del suelo y la infiltración del agua lo que facilita el crecimiento de los cultivos mejorando la capacidad del suelo permitiendo que las raíces de las plantas puedan tener menor gasto de energía de esta manera siendo esencial la materia orgánica (Docampo, 2010).

#### **c. Relación carbono - nitrógeno.**

La relación carbono/nitrógeno C/N, verifica los niveles de nitrógeno que se encuentran disponibles en las plantas, al presentarse valores superiores el proceso de descomposición de la materia orgánica es lento, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno(Gamarra et al., 2018).

Gran parte de los microorganismos necesitan grandes cantidades de nitrógeno, y originan células nuevas, mediante los residuos orgánicos que presentan más contenido de nitrógeno el proceso es más rápido, de los que no que presentan nitrógeno (Boyd, 2018).

#### **d. Conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica, en soluciones de sustrato se mide en C.E con la capacidad de un material para transportar corriente eléctrica. El valor más alto se presenta cuando la corriente se mueve con mayor facilidad, mayor sea el nivel C.E los valores de sales son más altos. Cuando el C.E es bajo, el uso de la fertilización es más fácil por ende se evita problemas de fitotoxicidad de los cultivos (Bárbaro et al., 2005)

### **2.4.3 Indicadores biológicos.**

Los indicadores biológicos pueden reflejar el número total, tipo y actividad de microorganismos y la diversidad de organismos vivos en el suelo, y de manera particular la población microbiana (Salazar, 2018). Mediante tasas de descomposición de residuos vegetales, el N y C de la biomasa microbiana (Cruz et al., 2007) respiración microbiana, actividad enzimática, composición de la comunidad microbiana(Ferreras et al., 2009).

### **a. Composición microbiológica del suelo.**

Los microorganismos son fundamentales para mantener un buen estado de fertilidad del suelo, generando que los cultivos sean más sanos y fuertes.

El suelo muestra una gran heterogeneidad, porque está dividido en una multitud de microambientes cuyas condiciones son diferentes a otras, esto explica la presencia de bacterias neutrófilas o alcalófilas en suelos ácidos y la desnitrificación en suelos con buena presencia de aireación; es así que las bacterias y los hongos son los microorganismos dominantes en todos los suelos debido a su biomasa y la actividad metabólica (Carrillo, 2016).

La composición microbiana del suelo se ha dividido en tres grupos:

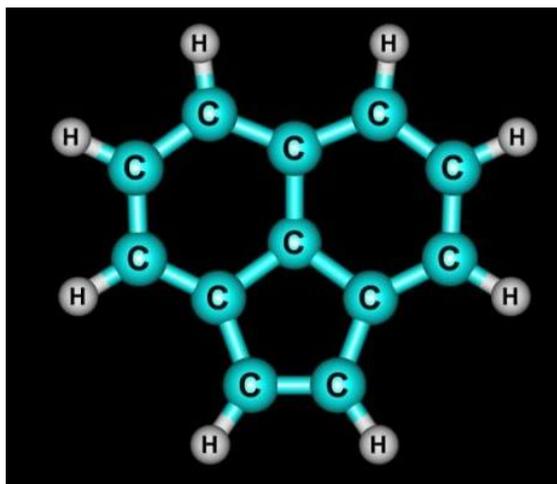
1. **Microorganismos autóctonos o nativos:** Se caracterizan por estar presentes en cada suelo particular.
2. **Microorganismos zimógenos:** Se desarrollan bajo el dominio de tratamientos específicos del suelo como: adición de materia orgánica, fertilización y aireación
3. **Microorganismos transitorios:** Estos son microorganismos introducidos intencionalmente como, por ejemplo: abonos bacterianos, y los que no se introducen intencionalmente, ejemplos: patógenos que causan enfermedades a las plantas. Muchos pueden morir rápidamente o sobrevivir en el suelo, en los restos de plantas.

## **2.5 Contaminación por hidrocarburos.**

### **2.5.1 Generalidades.**

Los hidrocarburos son compuestos integrados por átomos de carbono e hidrógeno, los cuales se encuentran presentes principalmente en el petróleo, son considerados como una mezcla líquida de gases, líquidos y sólidos en pequeñas cantidades, de la mezcla de nitrógeno, oxígeno y azufre (Villavicencio, 2018) (Figura 14).

Estos también pueden contener compuestos de hierro, níquel, vanadio, entre otros y por lo general tienen una proporción de 76% a 86% de carbono y de 10% a 14% de hidrógeno (Velásquez, 2018), los hidrocarburos se clasifican en:



**Figura 14.** Cadena policíclica de hidrocarburos

**Fuente:** ( Ondarse, 2021).

### **2.5.2 Hidrocarburos bigenéricos.**

Son aquellos sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo también el microbiota, plancton marino, bacterias, algas y plantas superiores. Estos pueden ser biosintetizados por los organismos o pueden ser ingeridos con el alimento y alterados posteriormente en su digestión (Cando, 2011).

### **2.5.3 Hidrocarburos antrópicos.**

También conocidos como contaminantes orgánicos persistentes, son aquellos introducidos como consecuencia de cualquier tipo de actividad humana, se caracterizan porque en general son altamente tóxicos, pueden tardar años en degradarse en sustancias menos tóxicas. La unión de carbono-cloro son permanentes ante la hidrólisis, por lo tanto, a mayor número de estos enlaces, mayor será su resistencia a la degradación biológica (Ritter et al., 1995).

### **2.5.4 Hidrocarburos totales.**

Los hidrocarburos totales son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono llamados hidrocarburos. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los hidrocarburos, incluyen a hexano, aceites, benceno, tolueno, naftalina y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina (Toxic, 1998).

Algunos hidrocarburos totales se los encuentra en estado líquido incoloros o claros, son capaces de evaporarse fácilmente, otros presentan mayor viscosidad con colores oscuros los cuales no tiene la capacidad de evaporarse; cuando existe una contaminación de hidrocarburos totales no es necesario medir a cada uno de los elementos que componen a los THP, pero si es práctico calcular el total de conjuntos de hidrocarburos presentes en el suelo (ATSDR, 1999).

### **2.5.5 Efectos de los hidrocarburos totales en el suelo y ambiente.**

La contaminación de hidrocarburos totales en el suelo tiene consecuencias negativas para la flora, fauna y microorganismos presentes en el suelo. En la mayoría de los casos depende del volumen, tipo de THP y factores ambientales entre los efectos más perjudiciales que ocasionan los hidrocarburos totales tenemos los siguientes según (Cando, 2011).

- Bajo rendimiento de los cultivos y disminución de calidad de los productos obtenidos.
- Retardo del crecimiento de la vegetación en zonas contaminadas.
- Modificaciones en la población microbiana en el suelo.
- Contaminación de aguas superficiales mediante escorrentía.
- Contaminación de aguas subterráneas mediante lixiviados.
- Contaminación del aire por combustión, vaporización, sublimación o arrastre por el viento.
- Intoxicación de la cadena alimenticia.
- Cuando sobrepasa la capacidad de aceptación del suelo para contaminantes, se genera disminución de autodepuración.
- Contaminación paisajística.

### **2.5.6 Efectos de los hidrocarburos totales en la salud humana.**

Los efectos que ocasionan los hidrocarburos totales en la salud humana representan un riesgo latente, dependiendo del grado de composición de los THP. En varios casos las personas se han visto expuestas al benceno, generando irritación en la vista, y el 40 % absorbe la piel (Martínez 2017).

Barin (2021), señala las consecuencias que pueden tener los hidrocarburos totales en la salud humana.

- Depresión del sistema nervioso central
- Irritación de las mucosas
- Irritación de la piel y/o dermatitis
- Neumonitis química, edema pulmonar y hemorragia
- Polineuropatía
- Cefalea, náuseas, mareo, desorientación y confusión
- Tos y dolor de garganta
- Palpitaciones
- Cambios de conducta, depresión, alteración en el estado de ánimo y de la función intelectual.
- Leucemia no linfocítica aguda
- Anemia aplásica

## **2.6 Aceites y grasas.**

Se constituyen por ser compuestos orgánicos de origen vegetal y animal, también por ser parte de los hidrocarburos totales de petróleo, se caracterizan por ser de baja densidad, bajos niveles de biodegradabilidad y muy poca solubilidad (Pasaye et al., 2020).

### **2.6.1 Efectos de los aceites y grasas en el suelo y ambiente.**

Los aceites y grasas vertidos en suelos producen la destrucción del humus y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La eliminación por vertido de los aceites usados, origina graves problemas de contaminación de tierras, ríos y mares (Sandoval et al., 2017).

Por ende, se producen diversos problemas ambientales los cuales se indican algunos de ellos:

- Contaminación de vertidos, por el abandono el desecho de aceites y grasas.
- El aceite que es vertido en el suelo afecta a la materia viva y disminuye la fertilidad.
- Disminución de la flora y fauna acuática.

## **2.7 Mecánica automotriz.**

### **2.7.1 Generalidades.**

Es un establecimiento dedicado al mantenimiento de vehículos, motocicletas y otros aparatos que generalmente usan motores de combustión. Entre los servicios que se ofrecen en una mecánica automotriz, se encuentran: reparaciones mecánicas, cambios de aceite del motor, cambio de filtros de aceite. Generalmente, en Ecuador, la mayoría de estos establecimientos carecen de un tratamiento adecuado de productos residuales. Por esta razón surge la necesidad de implementar normas que permitan atenuar los problemas que surgen por el tratamiento inadecuado de desechos producidos (Andrino, 2016).

### **2.7.2 Residuos producidos.**

Para llevar a cabo el mantenimiento y servicio de los vehículos, se generan productos los cuales se clasifican en residuos no peligrosos y residuos peligrosos.

#### ***a. Residuos no peligrosos.***

Entre residuos no peligrosos directos se encuentran los embalajes de repuestos, suciedad adherida del vehículo entre otros; mientras que de forma indirecta está el papel generado, materiales desgastados estos en muchos de los casos son reutilizables (Andrino, 2016)

#### ***b. Residuos peligrosos.***

Se refiere a aquellos que llevan un riesgo a la salud o el medio ambiente donde se encuentren entre ellos tenemos: aceites, combustibles usados, grasas producidas por los diferentes

## 2.8 Cultivo del baby girasol.

### 2.8.1 Origen del girasol.

Se remota a 3.000 años A.C en el Norte de México al sudeste de Estados Unidos, considerado como un cultivo habitual entre las tribus norteamericanas, se utilizaba para hacer tortas a base de las semillas extraídas las cuales eran molidas y además extraían el aceite (Arbelo & Ponce, 2011).

Durante el periodo 1.500 D.C los españoles llevaron la planta al continente europeo, en donde en la actualidad existen grandes cantidades de cultivo de girasol. Su principal uso es ornamental, también tiene usos medicinales y alimentarios (Gómez 2019).

El girasol es una planta que pertenece a la familia asterácea Tabla 1, posee una fácil adaptación a los diferentes tipos de suelo, es un cultivo beneficioso para la exportación a nivel internacional. Se adapta a altitudes de 0 hasta 2800 msnm, su necesidad hídrica va desde 600 a 1000 mm el cual depende del proceso de crecimiento de la planta (Criollo, 2020).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del girasol.

<b>Clasificación Taxonómica</b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Subclase</b>	Asteridae
<b>orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Genero</b>	Helianñthu
<b>Especie</b>	Annuus L.
<b>Nombre científico</b>	Helianthus annusL.

**Fuente:** (Criollo, 2020)

### 2.8.2 Características morfológicas del baby girasol.

El girasol abarca aproximadamente 68 especies, gran parte de ellas se centran en Norteamérica, la más importante es *Helianthus annuus*.

La raíz del girasol posee un nivel de adaptabilidad a las distintas condiciones del suelo, está constituida por una raíz pivotante de por lo menos 2 metros de longitud, para girasoles enanos un máximo de 45 cm, poseen numerosas raíces secundarias. El tallo del girasol tiene forma cilíndrica, vigorosa con un hueco en el interior mientras, que en el exterior es recubierto de pubescencia de color blanco; la altura del tallo va desde los 40 cm y 2,2 m con un diámetro de la parte superior, de 4 a 5 cm y la superior de 1,5 a 3,0 cm dependiendo de la clase de girasol (Tenesaca, 2015).

El número de hojas del girasol varía desde 12 a 40, debido a las condiciones del cultivo de la planta. Su forma es pecioladas, dentadas con vellosidades, crecen en el tallo, el tamaño puede ir desde 30 a 10 cm según la especie de girasol (Agudelo & Brown, 1987).

La inflorescencia del girasol conocida también como capítulo o cabeza, está constituida por dos tipos de flores: las primeras flores ligadas y las segundas tubulosas (INTA, 1997).

### **2.8.3 Girasol big smile.**

El girasol big smile *Helianthus annuus*, como se visualiza en la figura 15 es una especie de girasol enana, no sobrepasa los 40 cm con flores enormes, con un disco color marrón al centro, flores largas y amarillentas. El cultivo de girasol big smile es recomendable, que se encuentre expuesto al sol. Su época de floración se da entre los meses de julio y octubre (Garden, n.d.).



**Figura 15.** Flores de girasol big smile

**Autor:** (Fitoagícola, 2021)

### **2.8.4 Importancia del girasol en el medio ambiente.**

Usar la planta de girasol como un recurso de fitorremediación, es de gran ventaja ya que puede ayudar a estabilizar metales los mismos que son almacenados en los tejidos foliares y raíces.

Las plantas de girasoles tienen la capacidad de absorber materiales radiactivos o de otros contaminantes presentes en el suelo, es factible sembrar plantas de girasoles en lugares que se encuentran con altos nivel de radiación (Mendoza, 2019).

### **2.8.5 Remoción de hidrocarburos por girasoles.**

Las plantas de girasol se caracterizan por ser de fácil adaptación al terreno donde se encuentren, especialmente en terrenos donde exista humedad, además, de que estas plantas poseen la característica de que al recibir gran cantidad de luz solar mejoran su mecanismo fotosintético de tal manera que los nutrientes que se encuentren en el suelo serán bien

aprovechados, por lo que las plantas de girasol son utilizadas para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos (Muñoz, 2016).

Buendía-Ríos et al., (2014), en su estudio denominado “Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo” menciona que: las plantaciones de girasol son un buen biorremediador de suelos contaminados por hidrocarburos dado que puede disminuir desde un 10 a 20% de hidrocarburos, esto se debe a las propiedades que posee en cuanto a la absorción de contaminantes a través de su raíz y lo fácil que se puede adaptar a este tipo de suelos. Sin embargo, para que esta tenga una mayor eficiencia se debe combinar con humus y aserrín

## **2.9 Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo.**

Con referencia al Anexo 2 del Libro VI del Código Orgánico del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados como se visualiza en la Tabla 2, se toma como referencia la:

- **Toma de muestras de suelo.**

La muestra es compuesta, formando 15 a 20 submuestras, con un peso no superior a los 0,5 kg a una profundidad de 0 a 30 cm. La recolección de las muestras se ejecutará en dos etapas: toma de muestras de suelo superficial y toma de muestra vertical del suelo (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

- **Criterios de remediación del suelo.**

Los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo, tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo luego de un proceso de remediación, y son presentados en la Tabla 2, libro VI del Código Orgánico del Ambiente (Anexo 4).

**Tabla 2.** Criterios de calidad del suelo.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades*</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad	μS/cm	200
pH		6 a 8
Índice SAR	C	4*
<b>Parámetros Inorgánicos</b>		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre(elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0,5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0,4
Cianuro	mg/kg	0,9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0,1
Molidebena	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Benceno	mg/kg	0,03
Clorobenceno	mg/kg	0,1
Etilbenceno	mg/kg	0,1
Estireno	mg/kg	0,1
Tolueno	mg/kg	0,1
Xileno	mg/kg	0,1
PCBs	mg/kg	0,1
Clorinados	mg/kg	0,1
Clorobencenos	mg/kg	0,05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0,05
Haxaclorociclohexa	mg/kg	0,01
Fenolicos no	mg/kg	0,1
Clorofenoles	mg/kg	0,05
Hidrocarburos	mg/kg	150
Hidrocarburos	mg/kg	0,1

**Fuente:** (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se basó en una investigación experimental, la cual tuvo un nivel de indagación explicativo se expuso como variable independiente (consorcios microbianos), influyendo en la variable dependiente (suelo contaminado, características físico, química, biológicas, hidrocarburos totales y aceites- grasas).

El método usado fue científico que consiste en la demostración de una hipótesis (El consorcio microbiano presenta buenos resultados de remoción de hidrocarburos totales, aceites-grasas) previamente planteada. La demostración se realizó mediante análisis de variables y parámetros los cuales se aplicaron a un grupo seleccionado de muestras de suelo, mediante estudios cuantitativos, observación y análisis de laboratorio.

#### 3.1 Zona de estudio.

La investigación se desarrolló en el taller Mecánica Automotriz Mejía ubicado en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Yanuncay, barrio La Fátima, calle Pedro Calderón de la Barca. Geográficamente se encuentra ubicado  $2^{\circ}54'30.85''$  latitud sur y a  $79^{\circ}01'32.08''$  longitud oeste, como se observa en la (Figura 16).



**Figura 16.** Ubicación de la zona de estudio de la mecánica automotriz Mejía.

### 3.2 Tratamientos y diseño experimental.

#### 3.2.1 Tratamientos.

El estudio se realizó con un total de 9 unidades experimentales, con el propósito de verificar el efecto de un consorcio microbiano aplicado en dos tratamientos y un testigo. Con un diseño de bloques completos de manera secuencial, cada tratamiento presenta tres repeticiones.

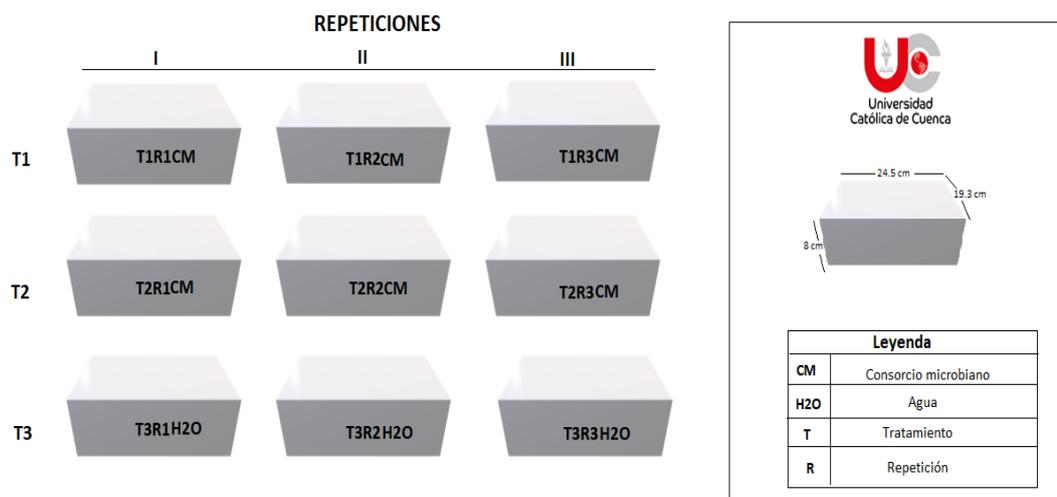
La investigación estuvo establecida por tres tratamientos, como se verifica en la siguiente Tabla 3.

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos.

<b>Tratamientos</b>	<b>Dosis</b>	<b>Descripción</b>
<b>T1</b>	25% (25ml)	Consortio microbiano
<b>T2</b>	15% (15 ml)	Consortio microbiano
<b>T3</b>	1lt agua	Testigo

#### 3.2.3 Diseño experimental.

A continuación, se observa el esquema del diseño de las unidades experimentales, se utilizaron nueve cajas con dimensiones de 24,5 cm x 19,3 cm x 8 cm (aproximadamente 2,2 lt) como se verifica en la (Figura 17). Con una experimentación ex situ, utilizando el suelo proveniente de la mecánica automotriz.



**Figura 17.** Esquema de distribución de las unidades experimentales.

### 3.3 Materiales.

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de la investigación fueron los siguientes.

#### 3.3.1 Materiales para la recolección de muestras de suelo.

- Cinta métrica
- Cuerda de poliestireno
- Guantes
- Pala

- Sacos

### 3.3.2 Materiales para la preparación de unidades experimentales.

- Caja plástica de polipropileno
- Balanza electrónica
- Papel aluminio
- Clavo pequeño

### 3.3.3 Materiales para la aplicación del consorcio microbiano benéfico.

- Vaso de precipitación de 25 ml
- Botella plástica 1 litro.

### 3.4 Recolección de muestra de suelo.

La recolección de la toma de muestra del suelo contaminado de la mecánica automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca, fue un tipo de muestra compuesta de acuerdo con el Artículo 4.5.1.1 del Anexo 2, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Para lo cual se tomó 70 kg de suelo, de los cuales 500 gr fueron enviados al laboratorio para el análisis inicial, y lo restante se utilizó para colocar en las unidades experimentales inicial, con una profundidad de 30 cm, en base a la técnica de toma de muestras de suelos (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

El procedimiento que se utilizó para la recolección de suelo contaminado fue de recorrido de zig- zag como se visualiza en la figura 18, que consiste en líneas atravesadas en donde se recolectó submuestras, las cuales fueron mezcladas y homogenizadas obteniendo una muestra compuesta (Figura 19).



**Figura 18.** Esquema para la recolección de muestras de suelo zig-zag.



**Figura 19.** Muestra compuesta del total del suelo recolectado.

Luego del total recolectado de la muestra de suelo de la mecánica automotriz, se tomaron 500 gramos se empacó y se etiquetó en una funda plástica negra, posteriormente fueron enviadas y analizadas en el laboratorio BIONIKA de la ciudad de Quito, para obtener los parámetros iniciales del suelo de la mecánica.

### **3.5 Obtención de CMB.**

Los consorcios microbianos benéficos fueron facilitados por los laboratorios de la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca. El estado del biopreparado se observa en la (Figura 20).



**Figura 20.** Consorcio microbiano listo para su uso.

### **3.6 Preparación de las unidades experimentales y aplicación de dosis de CMB.**

#### **3.6.1 Acondicionamiento de las cajas.**

Para la preparación de las unidades experimentales se utilizó cajas de polipropileno (PP) transparentes, con dimensiones de 24,5 cm x 19,3 cm x 8 cm y pesan 86 gr abiertas de la parte superior (Figura 21).

Posteriormente, con la ayuda de un clavo pequeño se realizó un agujero en cada extremo de la caja con un diámetro aproximado de 20 mm. Luego se cubrió con papel aluminio cada caja para evitar que el CMB se saliera con facilidad.



**Figura 21.** Cajas preparadas para colocar las muestras de suelo.

### 3.6.2 Preparación de unidades experimentales.

Luego de haber adecuado previamente las cajas de polipropileno, se procedió a situar la muestra de suelo de la Mecánica Automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca.

- Utilizando una balanza electrónica se pesó y se depositó 1,95 kg de suelo contaminado hasta la superficie de la caja (Figura 22).
- Luego se etiquetó respectivamente indicando al tratamiento perteneciente.
- El proceso se repitió para cada unidad experimental garantizando que los tratamientos, tengan los mismos escenarios para que posteriormente no ocurra alguna alteración o error en las unidades experimentales. Finalmente, quedando listas para la aplicación de CMB (Figura 23).



**Figura 22.** Proceso de pesaje del suelo.



**Figura 23.** Unidades experimentales listas para la aplicación de CMB.

### 3.6.3 Aplicación del consorcio microbiano benéfico (CMB).

Alvarez-Vera et al., (2019), señalan que ejecutaron la inoculación de consorcios microbianos benéficos (CM1 y CM2) una vez por semana. Cada uno de los consorcios microbianos se prepararon al 5% de concentración, con una regadera de acuerdo a cada tratamiento Para la aplicación del

CMB se utilizó una botella de polietileno con una capacidad de 1 litro, se usó un vaso de precipitación de 25 ml, para cuantificar de manera más precisa las dosis del consorcio microbiano benéfico (Figura 24).

- Tratamiento 1 (T1): Consistió en la mezcla de 1 litro de agua sin cloro y se agregó 25 ml (25%) del consorcio microbiano benéfico (Anexo 1).
- Tratamiento 2 (T2): Consistió en la mezcla de 1 litro de agua sin cloro y se agregó 15 ml (15%) del consorcio microbiano benéfico.
- Tratamiento 3 (T3): Se realizó solo con 1 litro de agua sin cloro.

La aplicación del consorcio microbiano benéfico se realizó durante un periodo de 4 meses y 20 días (25/03/2022- 15/08/2022), por tres veces a la semana (lunes, jueves y sábado) (Figura 25).



**Figura 24.** Determinación de la medida.



**Figura 25.** Riego con consorcio microbiano benéfico.

### 3.7 Siembra de las semillas de baby girasol.

Aproximadamente después de 2 meses desde el inicio de la aplicación del CMB se llevó a cabo, la siembra de un total de 27 semillas de baby girasol (*Helianthus annuus L.*), en cada unidad experimental fueron sembradas 3 semillas y sometidas a diferentes tratamientos. Para ello Terrazas & Rabery, (2010), señalan que usaron macetas que consistieron en cajas de cartón de 20 x15 x 12 cm, protegidas internamente con papel aluminio llenadas con el sustrato conformado por melaza y suelo contaminado e identificas por tratamiento, repetición y variedad.

Según (Gomez, 2019), la humedad del terreno determinará la profundidad, por ende, se sembró las semillas a 2 cm de profundidad desde la superficie (Figura 26).

Seguidamente, se agregaron las dosis establecidas para cada tratamiento en las unidades experimentales, por un periodo de 2 meses y 20 días (Figura 27).



**Figura 26.** Siembra de las semillas de baby girasol.



**Figura 27.** Riego de CMB después de la siembra.

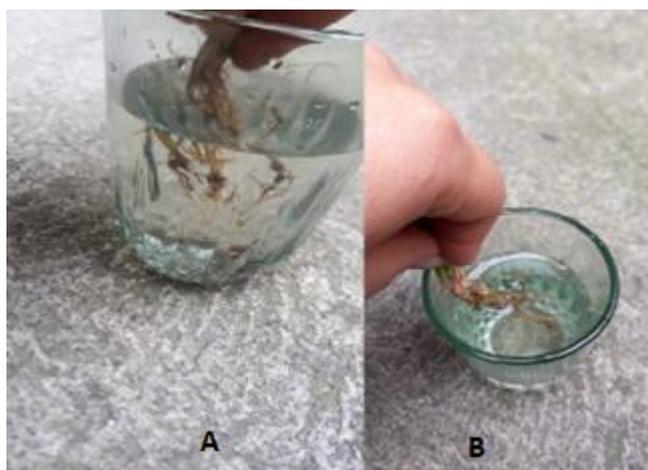
### **3.8 Incidencia del crecimiento en las plantas de baby girasol (*Helianthus annus L.*) aplicando consorcios microbianos en suelos contaminados**

Se aplicó la metodología (Vital-vilchis et al., 2019). La cual consiste en que las semillas germinaron con la técnica “tacos de germinación” durante 5 días. El experimento fue al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Al terminar el proceso el autor, documenta datos referentes a la altura de la planta medida en (cm), longitud de la raíz (cm) y número de hojas de la planta. Los mismos que serán aplicados al cultivo de baby girasol (Anexo 1).

#### **3.8.1 Proceso de extracción y lavado de las raíces de la planta de baby girasol.**

El proceso de extracción de las raíces de la planta de baby girasol se realizó 62 días después de su siembra. Seguidamente se extrajo la raíz de la planta con mucho cuidado, para luego limpiar el sistema radicular, en un envase se agregó una gran cantidad de agua para mojar y suavizar la raíz extraída (Vital-vilchis et al., 2019).

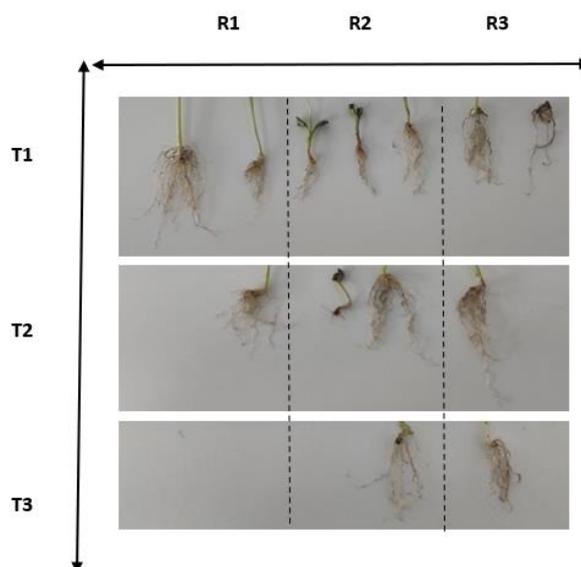
Luego se lavó las raíces con delicadeza para no ser maltratadas, posteriormente se secó con un pequeño pañuelo el sistema radicular y de esta manera quedaron listas para obtener su longitud (Figura 28).



**Figura 28.** Lavado de las raíces de las plantas.

### 3.8.2 Longitud de raíces del baby girasol.

Se colocó en un tablero gris las raíces extraídas para obtener una mejor apreciación. Para la medición de las raíces de las plantas se utilizó una regla de 30 cm, recolectando los datos de acuerdo con cada tratamiento con su respectiva repetición (Pennstate, 2018) (Figura 29).



**Figura 29.** Medición de la raíz de las plantas.

### 3.8.3 Medición de la altura de las plantas del baby girasol.

Para la medición de los datos de la altura se utilizó una regla de 30 cm, la toma de datos se realizó desde la base después de la raíz hasta la altura máxima alcanzada por la planta (Vital-vilchis et al., 2019) (Figura 30).



**Figura 30.** Comparación de la altura de los diferentes tratamientos.

#### **3.8.4 Número de hojas de la planta.**

Para el conteo del número de hojas de la planta, se realizó en base a un conteo de la cantidad de hojas por cada planta de baby girasol, en un período de 62 días (Hurtado, 2012) (Figura 31).



**Figura 31.** Número de hojas de la planta de baby girasol.

#### **3.9 Obtención de muestras finales del suelo con presencia de CMB.**

Para el proceso final de la recolección de muestras con presencia de CMB, en base a (IGAC, 2018) se ejecutaron los siguientes procesos:

- Por las tres repeticiones de cada tratamiento se tomó 166 gr de suelo, luego se colocó en un recipiente, se mezcló y se formó una muestra compuesta con un total de 498 gr por cada tratamiento (Figura 32).
- Luego se procedió a empacar cada muestra en una funda plástica pequeña color negro se selló y se etiquetó cada muestra con su respectivo código de identificación. Seguidamente, para su posterior envío y estudio en el laboratorio BIONIKA en la ciudad de Quito.



**Figura 32.** Muestras finales de suelo para enviar al laboratorio.

- Posteriormente, luego de haber recibido los resultados de laboratorio se procedió al análisis e interpretación de los mismos.

### **3.10 Análisis estadístico.**

Para el análisis estadístico del crecimiento del baby girasol se usó el software Rstudio mediante una comparación de varianzas (ANOVA), de la información recolectada de las diferentes partes de la planta de baby girasol. También se aplicó la prueba Tukey, con representaciones gráficas para una mejor interpretación de resultados. Los resultados de suelos fueron analizados con el programa Excel.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización inicial y final del suelo de la mecánica automotriz.

Con un total de 9 unidades experimentales se ejecutó el proceso de aplicación del consorcio microbiano benéfico, durante un periodo de 4 meses y 20 días con los siguientes tratamientos (Tabla 4).

**Tabla 4.** Descripción de tratamientos aplicados en las unidades experimentales.

Tratamientos	Descripción	Dosis
T1	Consortio	25% (25 ml)
T2	Consortio	15% (15ml)
T3	Testigo	1lt agua

#### 4.1.1 Características físico-químicas.

En la Tabla 5, se presentan las características físicas- químicas de los parámetros iniciales del suelo (línea base), tratamiento T1(25%), tratamiento T2(15%) y tratamiento(T3) testigo. Los cuales fueron respectivamente analizados en el laboratorio BIONIKA (Anexo 2).

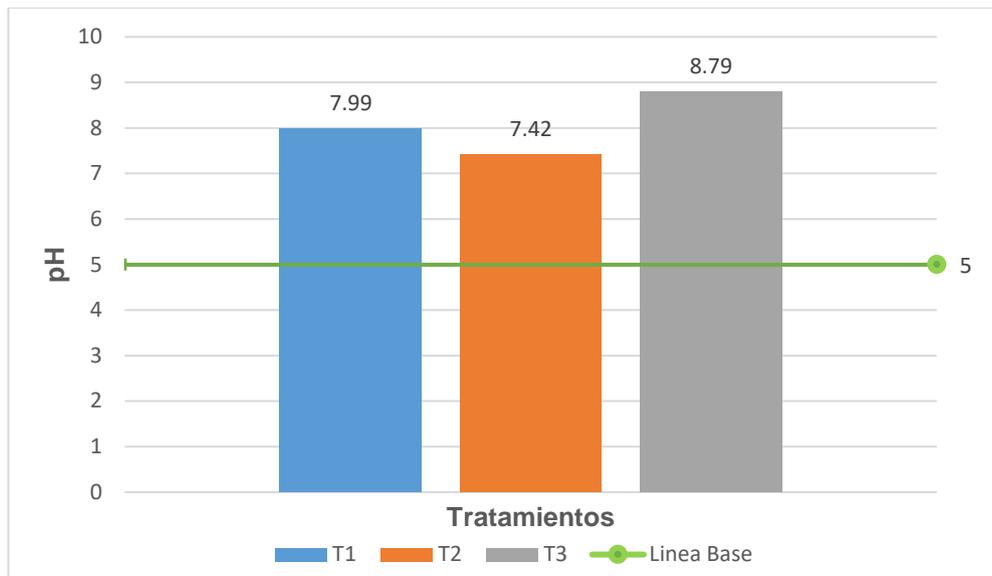
**Tabla 5.** Resultados de las características físico-químicas del suelo.

Elementos	Unidad	Línea Base	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
pH		5	7,99	7,42	8,79
Saturación	%	11	30	28	30
C.E.	mSiem/cm	0,12	0,19	0,22	0,35
Textura	% (clase textura)	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Materia	%	1,8	1,1	0,99	1,1
C.I.C.E.	meq/100 g	4,5	4,4	4,8	5,2
Nitrógeno	ppm	7	7	5	9
Fosforo (P)	ppm	77	79	82	94
Zinc (Zn)	ppm	0,5	0,38	0,45	0,51
Cobre (Cu)	ppm	5,5	3,3	4,1	5,3
Hierro (Fe)	ppm	88,5	89,6	91,2	110,4
Manganeso	ppm	8,3	7,2	8,3	9,2
Potasio (K)	ppm	115,3	222,4	122,4	178,3
Calcio (Ca)	ppm	698	628	778	809
Magnesio	ppm	87	79	71	88

Fuente: Laboratorio BIONIKA (2022)

#### a. *Potencial de hidrógeno (pH).*

Como se visualiza en la figura 33, la línea base presenta un valor de (5) indicando una inclinación muy ácida y ácida, seguidamente el tratamiento T1 y tratamiento T2 con un valor de (7,99) y (7,42) tendencia alcalina, mientras que el tratamiento T3 presentó un valor de (8,79), señalando una tendencia muy alcalina.



**Figura 33.** Niveles de potencial de hidrogeno (pH), línea base y tres tratamientos.

Cabe indicar que en la figura 33, el nivel de pH a los tratamientos presenta un rango superior de pH debido a que, al momento de la entrega de los resultados finales por parte del laboratorio, hubo una confusión entre cada uno de ellos, toda vez que es sabido que los hidrocarburos presentan pH bajo y no pH alto.

Para ello en el tratamiento T3 la abundancia de iones  $\text{OH}^-$  producen la precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso, cobre y zinc cuyos compuestos no son asimilados por las raíces de las plantas por lo tanto el nivel de pH aumenta (INTAGRI, 2018). Mientras que en los tratamientos T1 y T2 se señala la posibilidad de tener presencia de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Arrieta et al. (2012), menciona que valores de pH inferiores a 5,0 provocando toxicidad en las plantas e impidiendo el crecimiento y desarrollo correcto de las raíces, este escenario podría impedir el desarrollo de los microorganismos propios del suelo. Según Cervantes et al. (2017), sugiere que el pH es un indicador importante para el crecimiento de los microorganismos, por lo general algunas bacterias como los *Streptococcus* se desarrollan en pH bajos (3,0), al igual que los hongos.

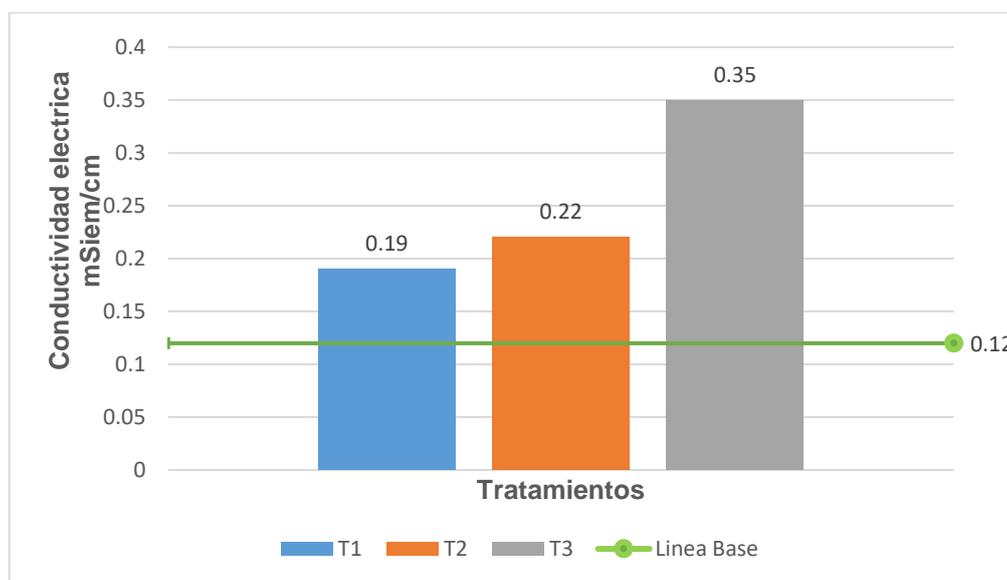
Torres et al. (2022), indica que los valores óptimos de pH para el crecimiento de bacterias van desde 6,0 hasta 8,5, algunas optan por un pH de 8,5 o superior. En cambio, los hongos pueden desarrollarse en ambientes de pH hasta de 8,5 es decir neutro. Sandoval et al. (2017), alude que los microorganismos benéficos benefician en la regulación del pH del suelo posiblemente contaminado, acercándose a un pH de 7,11 a 7,5 aconsejable para suelo productivo.

Ñustez,(2012), menciona según su estudio “Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible” la actividad enzimática y para el desarrollo de los microorganismos degradadores de hidrocarburos, el rango optimo está entre 6- 8, para los procesos de biorremediación. Valores de pH inferiores a 6

(ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos microbianos, lo mismo pasa con valores mayores de 8 (alcalinos).

### c. Conductiva eléctrica.

Según los datos registrados se visualiza que existe una diferencia entre la línea base y los tratamientos aplicados al suelo de la mecánica, como se observa en la figura 34. La línea base con un valor de (0,12 mSiem/cm), mientras que el tratamiento T1 posee un valor bajo de (0,19 mSiem/cm), seguidamente el tratamiento T2 con un valor de (0,22 mSiem/cm) y por último el tratamiento T3 con el valor más alto de (0,35 mSiem/cm).



**Figura 34.** Niveles de conductividad eléctrica (C.E), línea base y tres tratamientos.

La aplicación de consorcios microbianos benéficos altera la conductiva eléctrica en el suelo ya que, de los tres tratamientos dos de ellos presentaban CMB (T1 y T2), mientras que el tratamiento (T3) que no recibió la aplicación de CMB presentó un aumento de la conductividad eléctrica sobrepasando la línea base.

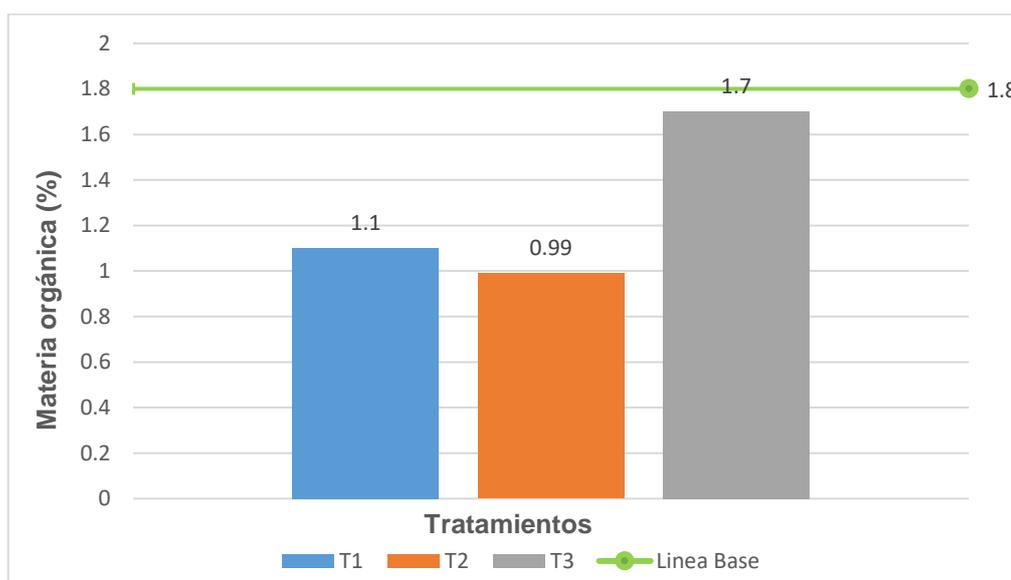
Alvarez (2018), menciona que C.E es un parámetro importante al presentar el suelo altas cantidades de conductividad, afectan el desarrollo normal de la planta. Yan et al. (2015), señalan que al presentarse grandes cantidades de conductividad eléctrica la actividad microbiana es baja, generando que hongos y microbios resisten de mejor manera el estrés salino lo cual no ocurre de la misma manera con las bacterias. En este estudio las conductividades receptadas van de media a baja (0,19- 0,22- 0,35), corroborando una buena actividad microbiana.

Zamora et al., (2017), indica que con su estudio "Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana ". La C.E aumentó significativamente, lo cual es atribuible, entre otros, a la actividad biológica durante la descomposición de materia orgánica. En el suelo contaminado se observó, al inicio del experimento, un aumento de la CE lo cual posiblemente se deba a que el suelo se encontraba contaminado con

hidrocarburo de petróleo puede contener restos de compuestos salinos utilizados durante la extracción y purificación, pero luego disminuyó a los 120 días

#### **e. Materia orgánica.**

Como se visualiza en la figura 35, el nivel de materia orgánica para la línea base es de 1,8 %, para el tratamiento T1 con un valor de 1,1 %, mientras que el tratamiento T2 con valor bajo de 0,99% en el tratamiento T3 con un valor de 1,70 % respectivamente.



**Figura 35.** Niveles de materia orgánica, línea base y tres tratamientos.

Los tratamientos T1 y T2 donde se aplicó el consorcio microbiano benéfico, presentan niveles bajos de materia orgánica con respecto al testigo (T3), e inclusive de la línea base del suelo. Varios factores inciden en los porcentajes de materia orgánica, por la presencia de diferentes microorganismos que intercepan en la mineralización y transformación de la materia orgánica.

Julca et al.(2006), indica que el suelo presenta una gran variedad de comunidades microbianas se dividen en fúngicas y bacterianas, su proceso de descomposición funciona de manera distinta una de la otra. Según Alvarez (2018), señala que la inoculación de un consorcio microbiano aplicado en el suelo aumenta la carga microbiana de microorganismos existentes, en consecuencia, la degradación de la materia orgánica aumenta, generando disminución en los contenidos, dando un aporte positivo.

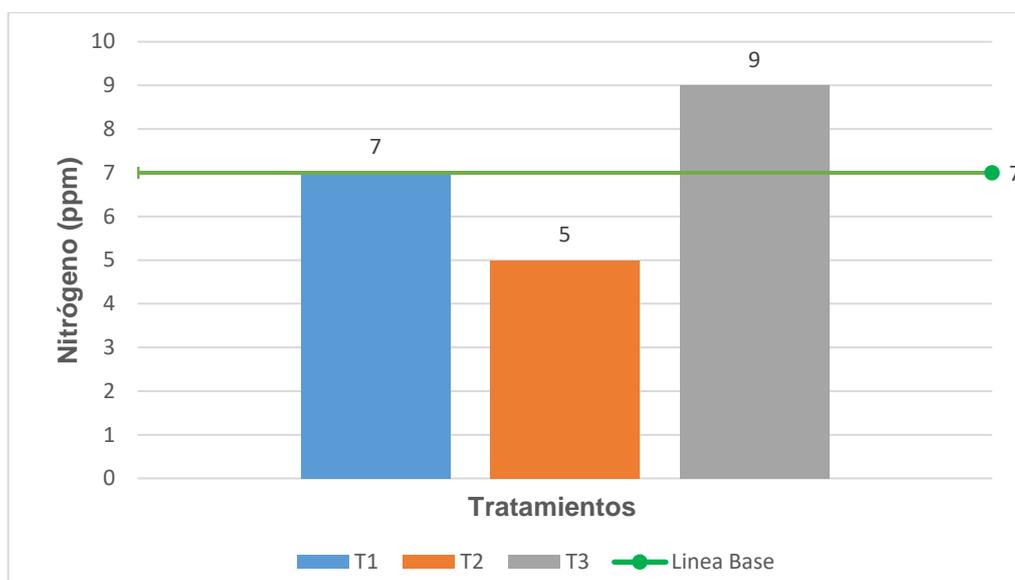
Alvarez (2018), menciona que el suelo con el tratamiento testigo presentó el mayor contenido de materia orgánica de 4,37%, indicando que la actividad microbiana degradativa es baja, evitando la liberación de nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantas.

Ramírez et al., (2016), señala según su estudio “Biorremediación de un suelo con diésel” La cantidad de materia orgánica en los dos tratamientos y en el control aumentó, a causa de la adición de los hidrocarburos, la concentración de materia orgánica en el suelo antes del derrame experimental se encontraba en 4,2 % en peso, después del derrame alcanzó el valor de 10,7% en

peso, y al finalizar el experimento se observó un descenso hasta 7,5% en peso aproximadamente por un período de 4 meses.

#### f. Nitratos ( $\text{NO}_3$ ).

En la figura 36, se visualiza los niveles de nitratos para la línea base correspondiente a un valor de 7 ppm, para el tratamiento T1 con una dosis del 25 % se observan valores de 7 ppm, mientras que para el tratamiento T2 con una dosis del 15%, tiene un valor menor de 5 ppm, y por último el tratamiento T3 (testigo) presenta un nivel de nitrógeno de 9 ppm.



**Figura 36.** Niveles de nitratos, línea base y los tres tratamientos.

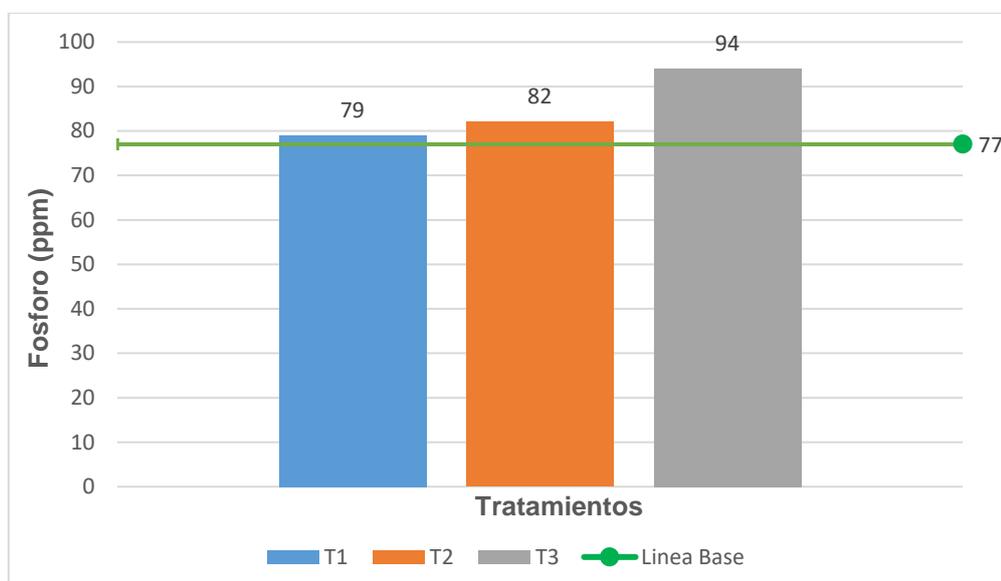
La presencia de nitratos en cada tratamiento es de importancia por su disponibilidad en las plantas en sus formas orgánicas ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) se desarrolla por microorganismos heterótrofos del suelo que utilizan las sustancias orgánicas carbonadas como fuente de energía; la humedad, la temperatura del suelo y el contenido de materia orgánica afectan la tasa de mineralización, suelos con mayores niveles de materia orgánica mineralizarán mayores cantidades de nitratos (Alvarez, 2018).

Pero Alvarez (2018), menciona que bacterias como: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Proteus* y *Bacterium* posiblemente son microorganismos amonificantes, con una intervención de hongos y actinomicetos.

Higa (2013), alude que las bacterias fotosintéticas no solo son capaces de desarrollar el proceso de fotosíntesis, sino que también tienen la capacidad de fijar nitrógeno y al existir la presencia de *Azotobacter* el proceso de fijación de nitrógeno se incrementa. Constatando que los niveles de nitrógeno disminuyen, porque no existe la aparición de la bacteria *Azotobacter*.

### **g. Fósforo (P).**

En la figura 37, se observa que el nivel de fósforo en la línea base presenta un valor de 77 ppm, mientras que en el tratamiento T1 con 79 ppm, en la columna del tratamiento T2 con un valor de 82 ppm y el tratamiento T3 alcanza un mayor valor de 94 ppm. Pero se identifica que no existe una gran diferencia entre la línea base y los tres tratamientos aplicados.



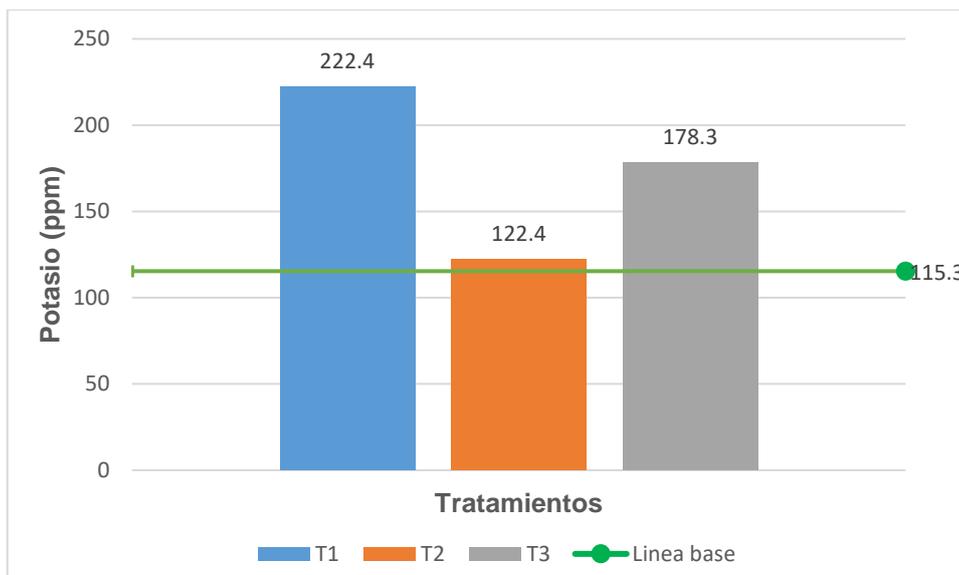
**Figura 37.** Niveles de fósforo, línea base y tres tratamientos.

Cisneros et al. (2016), indica que la presencia de fracciones de fósforo en el suelo genera que los microorganismos solubilizadores de fosfatos, convirtiendo estructuras no disolventes a otras estructuras solubles, por el proceso de acidificación, producción de ácidos orgánicos, reacciones de intercambio y quelatación.

Alvarez (2018), menciona que el fósforo que se halla en el suelo no es aprovechado de forma directa por las raíces de las plantas, y por eso es necesario la aplicación de microorganismos para optimicen el aprovechamiento. Sin embargo, no se corrobora con los resultados de este trabajo, en los que la cantidad de fósforo es menor a la cantidad del testigo.

### **h. Potasio (K).**

Los niveles de potasio en el suelo de la mecánica se visualizan en la figura 38, la línea base presenta 115,3 ppm, el tratamiento T1 presentó niveles superiores con un valor de 222,4 ppm, seguidamente el tratamiento T2 registra valores de 122,4 ppm, mientras que el tratamiento T3 con un valor resultante de 178,3 ppm, demostrando que existe mayores niveles de potasio en el tratamiento T1.



**Figura 38.** Niveles de potasio, línea base y tres tratamientos.

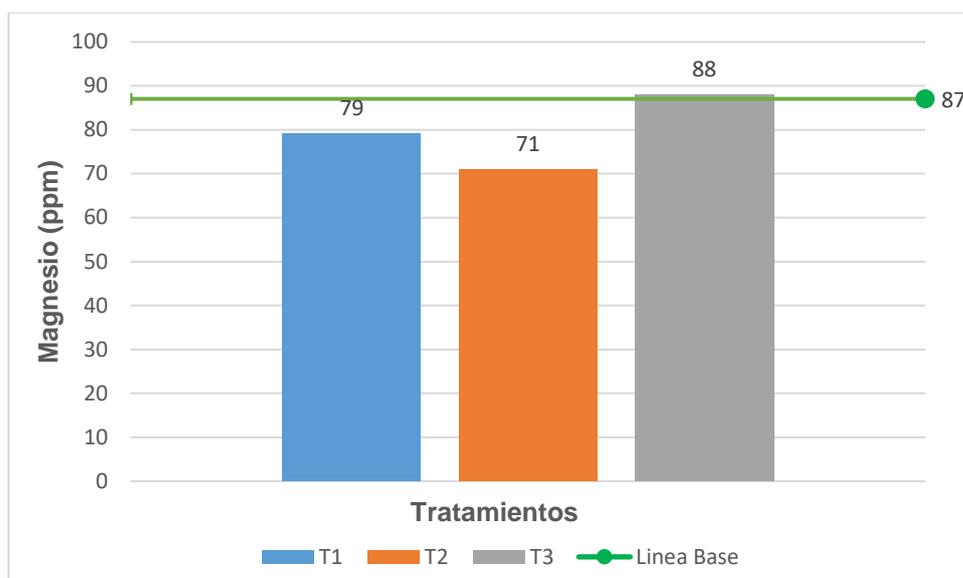
El potasio del suelo se puede ver afectado por diversos factores entre ellos: humedad – sequedad, temperatura, pH del suelo y composición coloidal. Los microorganismos que se encuentran en el suelo son los encargados de solubilizar el potasio, se los denomina microorganismos rizosféricos (Alvarez, 2018).

Los microorganismos que poseen la capacidad de destruir estructuras minerales de potasio son bacterias del género: *Bacillus*, *Clostridium* y *Pseudomonas* y algunos hongos como: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Mucos* (Guevara, 2010). Algunos de los microorganismos mencionados anteriormente se encontraron en el suelo del presente estudio, por lo que pudo generar alguna afectación en las concentraciones de potasio.

Alvarez, (2018), menciona que diferentes cultivos, ciertas bacterias y hongos tienen la capacidad de movilizar 15% de potasio, mediante la producción de ácidos orgánicos-inorgánicos o mediante la producción de polisacáridos se ha reportado de rizobacterias solubilizantes de potasio tales como *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus mucilaginosus*, *Burkholderia*, *Paenibacillus* sp. y *Pseudomonas*, que liberan potasio a forma accesible a partir de potasio mineral en los suelos

#### ***i. Magnesio (Mg).***

En la figura 39, se observa que los niveles de magnesio correspondientes a la línea base son de 87 ppm del suelo proveniente de la mecánica automotriz, para el tratamiento T1 presentó un valor de 79 ppm, posteriormente en el tratamiento T2 existe un mínimo descenso de 71 ppm, seguidamente en el tratamiento T3 se verifica un ascenso de 88 ppm.



**Figura 39.** Niveles de magnesio, línea base y tres tratamientos.

La filtración del magnesio depende de algunos factores disponibles en el suelo entre ellos: pH, porcentaje de saturación de magnesio, total de la capacidad de intercambio catiónico y el tipo de suelo, en ocasiones las pérdidas de magnesio en el suelo se generan por la lixiviación o absorción de los microorganismos (Vistoso & Martínez, 2020).

Mosaid (2018), señala que los niveles de fertilización con magnesio son distintos de 15 a 45 kg, por eso es de importancia el nivel de aplicación tomando en cuenta la solubilidad del magnesio.

#### 4.1.2 Características biológicas.

Para el análisis biológico se tomó como referencia una línea base del suelo proveniente de la mecánica automotriz, y de los tres tratamientos aplicados en las unidades experimentales, muestras que fueron analizadas en el laboratorio BIONIKA (Anexo 2), con los resultados que se observan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados de las características biológicas.

Microorganismos	Unidad	Línea	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
<i>Actinomyces sp.</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,621	0,985	0,784	0,985
<i>Bacillus subtilis</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	1,529	2,512	0,814	1,120
<i>Fusarium sp.</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,752	1,985	0,895	0,953
<i>Micelia sterilia</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,521	0,8542	1,184	1,145
<i>Streptomyces sp.</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,951	2,562	1,102	0,953
<i>Pseudomonas</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,098	1,854	0,884	2,653
<i>Trichoderma spp</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,098	2,798	1,864	1,597
<i>Thiobacillus sp</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	2,501	3,895	1,021	1,986
<i>Achromobacter sp.</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	-	1,928	1,105	0,977
<i>P. aeruginosa</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	-	2,659	1,162	1,309
<i>Rhodococcus spp.</i>	UFC.g <sup>-1</sup>	-	1,547	2,852	0,954

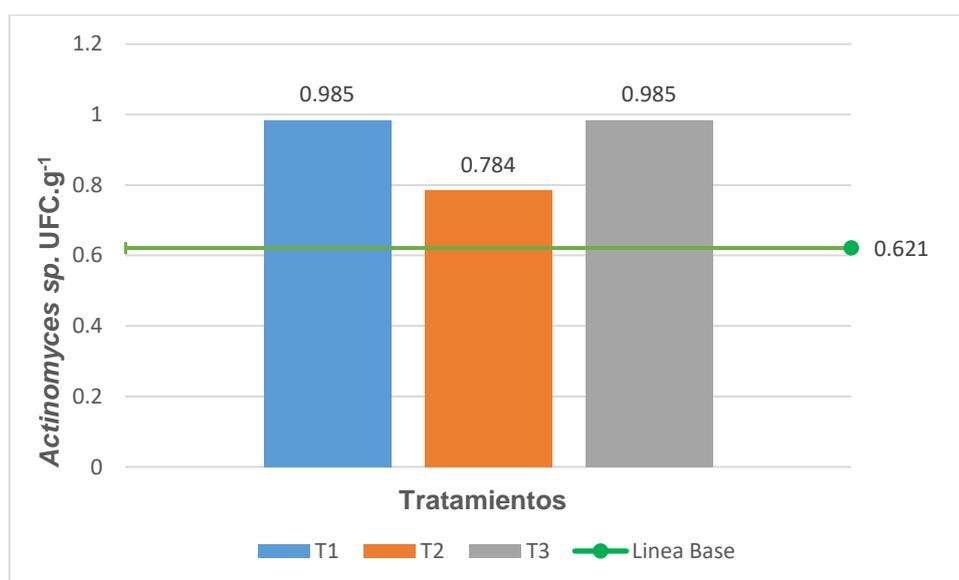
**Fuente:** Laboratorio BIONIKA (2022)

Según los resultados iniciales del análisis microbiológico el suelo de la mecánica, no mostró carga microbiana de *Achromobacter sp.*, *P. aeruginosa.* y *Rhodococcus spp.* Es importante notar que la población microbiana antes y después de la aplicación del consorcio microbiano benéfico, con el objetivo de establecer posibles causas que inciden en la alteración de la carga microbiana en los distintos tratamientos.

Tanto para la línea base y para los tres tratamientos empleados, se evidenció que existe una gran variedad de microorganismos y de concentraciones de estos. Por lo cual, se describen a continuación los resultados obtenidos de la Tabla 6.

#### a. *Actinomyces sp.* ( UFC.g<sup>-1</sup> )

De acuerdo con la figura 40, la presencia de *Actinomyces sp.*, en el suelo correspondiente a la línea base se visualiza una concentración de 0,621 ( UFC.g<sup>-1</sup> ), mientras que para el tratamiento T1 se observó concentraciones de 0,985 ( UFC.g<sup>-1</sup> ), descendiendo para el tratamiento T2 con 0,784 ( UFC.g<sup>-1</sup> ), seguidamente el tratamiento T3 presentó un valor de 0,985 ( UFC.g<sup>-1</sup> ), muy cerca del tratamiento T1.



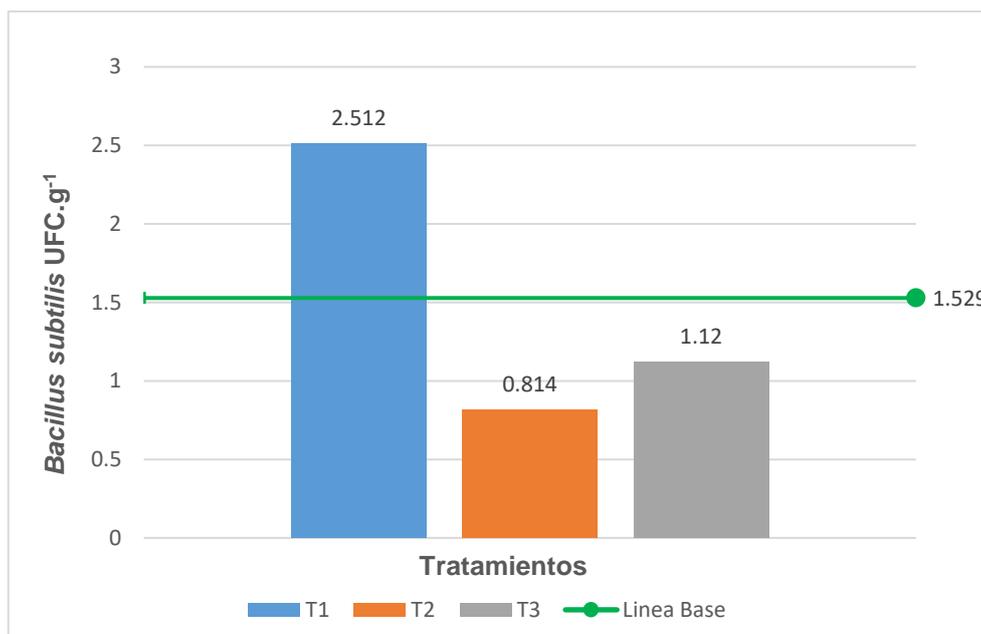
**Figura 40.** Concentraciones de *Actinomyces sp.*, línea base y tres tratamientos.

Como se verifica en la figura 40, los niveles de *Actinomyces sp.*, aumentaron para los tres tratamientos aplicados.

Franco (2010), indaga que los *Actinomyces sp.*, son posiblemente capaces de efectuar biocontrol por la capacidad de provocar enzimas biodegradativas como, por ejemplo: glucanasas, quitinasas, peroxidasas las cuales llevan el nombre de microparásitos. Poseen, una gran capacidad de la degradación del 25 % de la materia orgánica específicamente vegetal y animal que se encuentra presente en el suelo, el nivel de la comunidad de *Actinomyces sp.*, se debe al pH del suelo, tipo de suelo y contenidos de materia orgánica.

**b. *Bacillus subtilis.* ( UFC.g<sup>-1</sup> )**

En la figura 41, correspondiente a *Bacillus subtilis.*, en el suelo se verifica una concentración inicial de 1,529 (UFC.g<sup>-1</sup>), sin la aplicación del consorcio microbiano benéfico seguidamente en el tratamiento T1 con el valor más alto de 2,512 (UFC.g<sup>-1</sup>), posteriormente el tratamiento T2 presenta 0,814 (UFC.g<sup>-1</sup>), el valor más bajo con respecto a *Bacillus subtilis* mientras, que el tratamiento T3 registra un valor 1,120 (UFC.g<sup>-1</sup>) concentración medianamente baja.



**Figura 41.** Concentraciones de *Bacillus subtilis.*, línea base y tres tratamientos.

Cabrejos & Sipión (2019), mencionan que la efectividad de microorganismos benéficos, específicamente en *Bacillus subtilis*, en suelos contaminados con aceite es efectiva, ya que en un mes su nivel de reproducción puede ser mayor. Cañas, (2018), indica que es un microorganismo que produce solidez en la estructura del suelo y formación de partículas.

Wisoczynski et al. (2021), cita que se presentaron mejores resultados con la aplicación de dosis altas microbiológicas, generando carbonatos de calcio o cal, sustrato que ayuda al suelo.

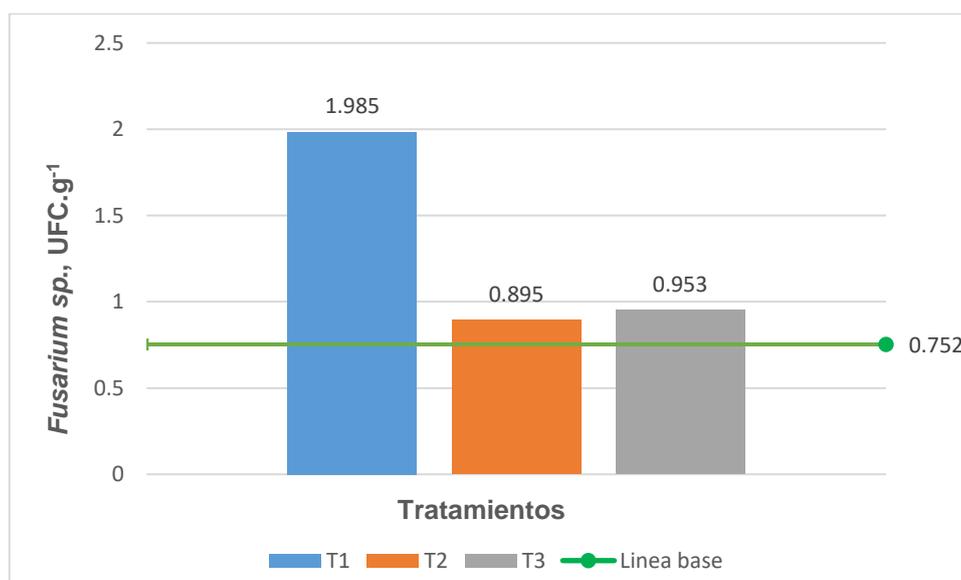
Chávez & Vásquez (2021), indaga que al usar *Bacillus subtilis* anticipa una posible solución sobre la salinidad de suelos ya que, la actividad metabólica favorece para ser utilizados en ambientes con grandes perturbaciones, también contribuyen a desarrollar de mejor manera los procesos de biorremediación y biofertilización en suelo previamente contaminados con hidrocarburos, pesticidas, aceites y entre otros.

Cruz & Lincango, (2021), mencionan que en su estudio "Evaluación del proceso de biorremediación suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo utilizando *Trichoderma* sp y *Bacillus pumilus*, mediante el sistema de biopilas a escala de laboratorio "en donde *Bacillus pumilus* puede llegar a una biodegradación de un 51% ya que se evidencia en la versatilidad y adaptabilidad en

hidrocarburos de petróleo en condiciones extremas. Esto determina una diferencia en cuanto a las concentraciones que se realiza y los microorganismos que se dispone en cada tratamiento del ensayo.

**c. *Fusarium sp.* ( $UFC.g^{-1}$ ).**

En la figura 42, se visualiza que *Fusarium sp.*, con respecto a la línea base presenta una concentración de 0,752, posteriormente el tratamiento T1 tiene una concentración de 1,985 ( $UFC.g^{-1}$ ) a los valores iniciales. Para el tratamiento T2 se observa una concentración de 0.895 ( $UFC.g^{-1}$ ), y un valor mínimo superior del tratamiento T3 con 0,953 ( $UFC.g^{-1}$ ).



**Figura 42.** Concentraciones de *Fusarium sp.* línea base y tres tratamientos.

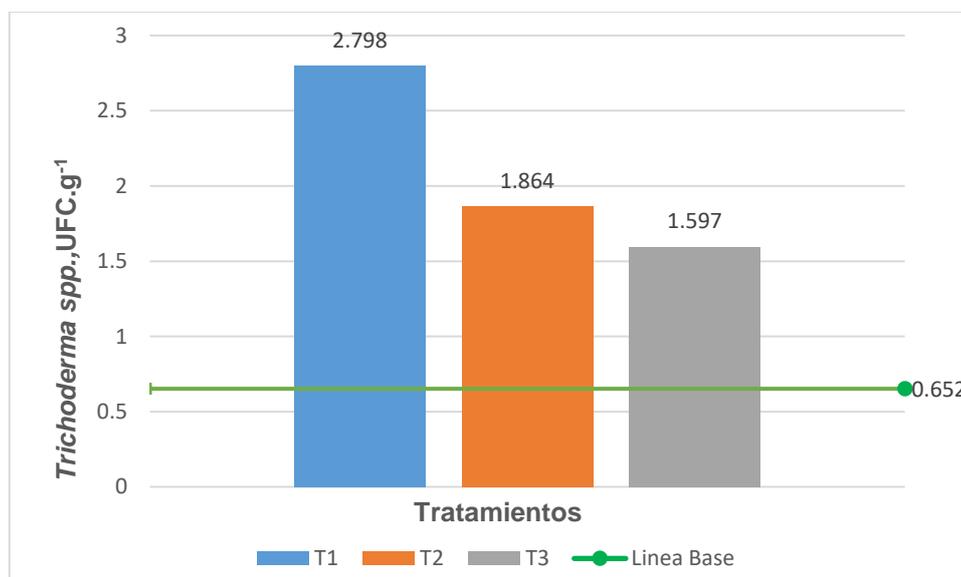
Cabello & Arambarri (1993), indagan que mediante su estudio "Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado" señala que *Fusarium sp.*, utilizó al petróleo como fuente principal de energía y carbono.

Villalobos (2018), señala que *Fusarium spp.*, obtuvo un consumo de 15% a 20% de HPA y del 15% a 10% en antraceno y fluoranteno, lo cual se la considera como un medio de biorremediación de suelos contaminados.

Vásquez et al., (2010), mencionan que según su estudio "Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados" en donde indican que cepas de hongos (*Aspergillus spp.*, *Trichoderma spp.*, *Fusarium spp.* y *Rhizopus spp.*). Las pruebas de degradabilidad, competitividad y compatibilidad realizadas a estas bacterias y hongos nos permitieron evaluar que son microorganismos con alta capacidad degradadora de TPH, sin restarle importancia a otros microorganismos

#### d. *Trichoderma spp.* (UFC.g<sup>-1</sup>)

Según la figura 43, correspondiente a *Trichoderma spp.*, se verifica que la línea base presenta una concentración de 0,652 (UFC.g<sup>-1</sup>), mientras que el tratamiento T1 presentó valores de 2,798 (UFC.g<sup>-1</sup>), superando los valores de la línea base. El tratamiento T2 tiene concentraciones de 1,864 (UFC.g<sup>-1</sup>) de *Trichoderma spp.*, y por último el tratamiento T3 tiene valores de 1,597 (UFC.g<sup>-1</sup>) debajo del tratamiento T2.



**Figura 43.** Concentraciones de *Trichoderma spp.* línea base y los tres tratamientos.

La *Trichoderma spp.*, hongo anaerobio capaz de soportar altas temperaturas, su desarrollo es más activo con la existencia de humedad con un nivel de capacidad de retención de humedad del 60 % (Martínez et al., 2013).

Pesántez & Castro (2016), señalan que cepas de *Trichoderma spp.*, ayudaron a la reducción de contaminantes en el suelo, los niveles de concentración de hidrocarburos totales disminuyeron más del 47%, resultados positivos se encontraron para los HAP con un nivel de reducción del 50 % en el suelo. De acuerdo con la investigación desarrollada por Acuario y España (2016), las cepas de *Trichoderma spp.*, contienen un gran potencial para llevar a cabo un proceso de biorremediación del suelo con presencia de hidrocarburos y metales pesados.

Hoyos et al. (2016), indica que al aplicar contenidos de consorcios microbianos que contengan *Trichoderma spp.*, ayuda aumentar la fertilidad de los suelos, específicamente aquellos que se dediquen a la producción de pasto. Ya que ayudan al crecimiento de las raíces de maíz y de algunos pastos (Acuario & España, 2016).

Muñoz, (2016), menciona que según su estudio “Evaluación de la eficacia de *Trichoderma sp* y *Pseudomonas sp* para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos “demostró que varios géneros de *Trichoderma* (*T. koningii* y *Trichoderma sp*) utilizados para biorremediación

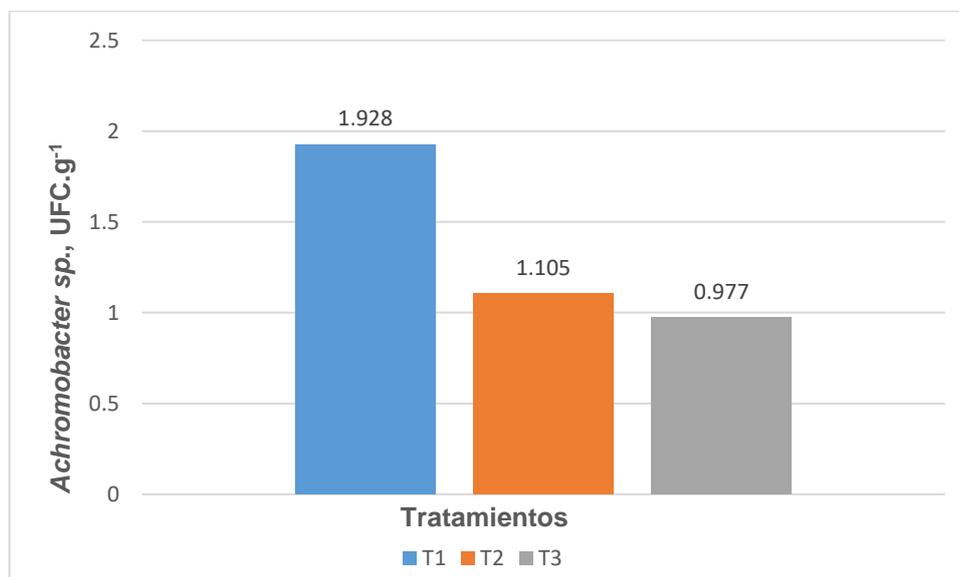
especialmente de moléculas de hidrocarburos saturados y aromáticos presentes en ciertos aceites y combustibles tuvieron una biorremediación eficaz, donde se los evaluó al exponer a compuestos hidrocarburos saturados.

#### 4.2 Identificación de microorganismos.

Luego, de la aplicación del consorcio microbiano benéfico se evidenció la presencia de tres nuevos microorganismos en las unidades experimentales.

##### a. *Achromobacter sp.* ( $UFC.g^{-1}$ )

De acuerdo a los datos registrados en la figura 44, *Achromobacter sp.*, se evidencia una gran diferencia del tratamiento T1 con respecto al tratamiento T2 y T3. Constatando que el tratamiento T1 tiene un mayor grado de concentración con 1,928 ( $UFC.g^{-1}$ ), posteriormente el tratamiento T2 presenta 1,105 ( $UFC.g^{-1}$ ), y por último el tratamiento T3 muestra una concentración de 0,977 ( $UFC.g^{-1}$ ) muy cerca del tratamiento T2.



**Figura 44.** Concentraciones de *Achoromobacter*, en los tres tratamientos.

Acruta & Leyva (2021), indican que hicieron uso de *Achromobacter sp.*, para la remoción de hidrocarburos presentes en el suelo, en la cual existió una eficacia del 95% para una concentración de 48,75 mg/kg. Acuña et al. (2010), señala que *Achomobacter sp.*, presenta la facultad de utilizar a los hidrocarburos como fuente principal de energía y carbono.

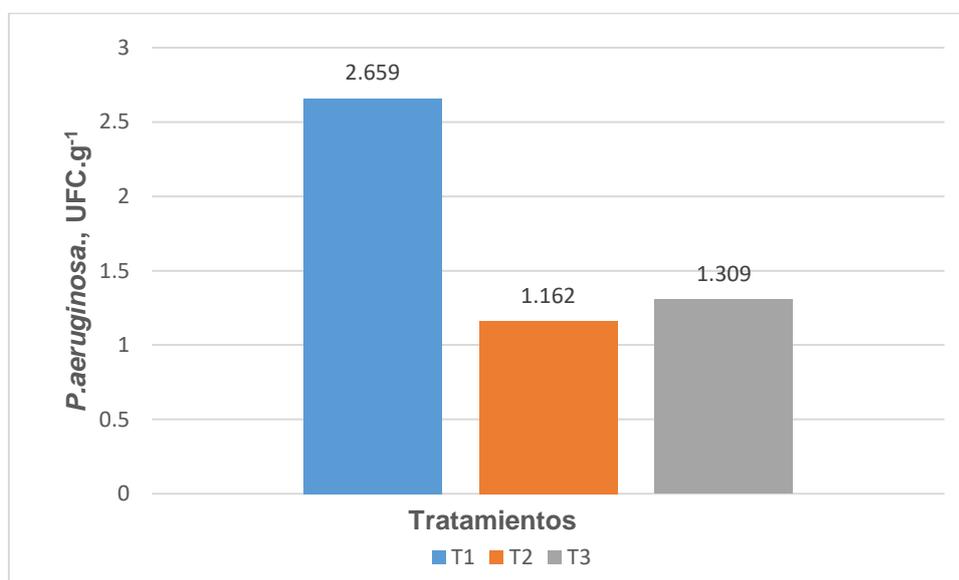
La *Achomobacter sp.*, fue usada para tratar suelo con presencia de aceite y petróleo, evidenciando excelentes resultados de biodegradación de hidrocarburos (Acuña et al., 2010).

Hernández (2018), expone que *Achromobacter spp.*, tiene características de disminución de nitritos a nitratos y de reducción de nitritos a *Achromobater animicus.*, cepas de *Achromobacter spp.*, se han utilizado como componente principal de un consorcio microbiano.

Riojas et al., (2010), según su estudio “Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos” indica que las bacterias son el grupo microbiano más versátil en la biodegradación de hidrocarburos, el 96% de las aisladas en medios líquidos (lagos, ríos y lagunas) presentan capacidad de crecer y emulsificar hidrocarburos, los microorganismos degradadores más importantes tanto en el agua como en el suelo son: *Pseudomonas* sp, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium* y *Norcadia*

**a. *Pseudomona aeruginosa* (UFC.g<sup>-1</sup>).**

Los resultados de *P. aeruginosa* según la figura 45, que se presentan son que el tratamiento T1 con dosis del 25% de CMB, tiene la mayor concentración con 2,659 (UFC.g<sup>-1</sup> ). Mientras, que el tratamiento T2 con dosis del 15% de CMB tiene concentraciones de 1,162 (UFC.g<sup>-1</sup> ). Y por último el tratamiento T3 (testigo) registra un valor ascendente de 1,309 (UFC.g<sup>-1</sup> ) de *P.aeruginosa*.



**Figura 45.**Concetraciones de *Pseudomona aeruginosa*., en los tres tratamientos.

La *Pseudomona aeruginosa* es considerada como una bacteria, que tiene características de desintoxicar contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo (Luján, 2019). En muchos de los casos la aplicación de la *P. aeruginosa* ha presentado resultados de un 60 % de efectividad (Kishore & Mukherjee, 2007).

En su investigación Lora et al. (2021), verificó que se mostraron resultados donde la *P. aeruginosa* aprovechó el sustrato de los hidrocarburos presentes en el suelo, como fuente principal de energía evidenciándose un nivel de degradación del 45 %. Quiliche et al. (2016), menciona que, a lo largo, del proceso de oxidación de los hidrocarburos o derivados por los microorganismos tanto el nitrato, sulfato y oxígeno operan como aceptores de electrones.

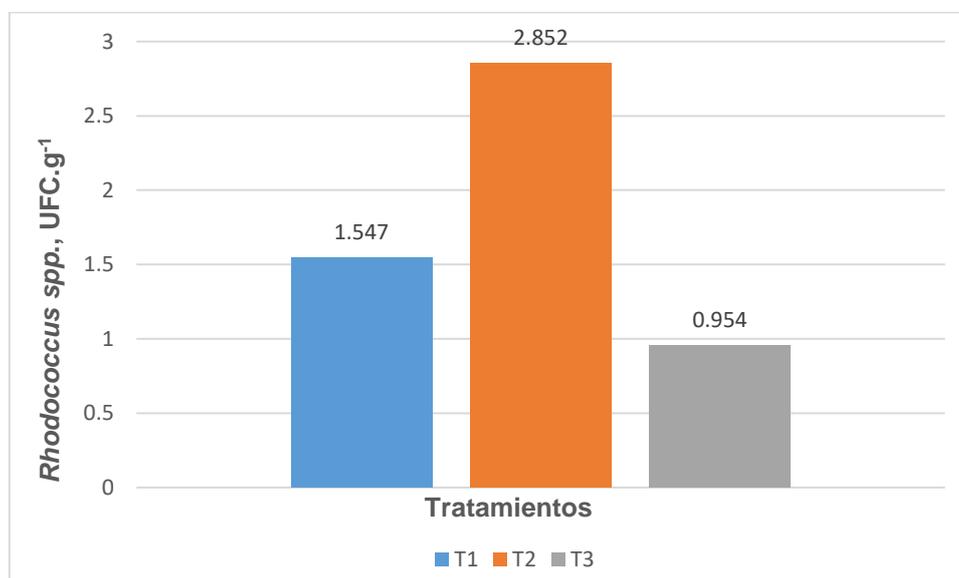
González (2011), menciona que *Pseudomona aeruginosa* es capaz de producir un tipo de biosurfante ramnolipido, en sitios contaminados de diésel 45% y gasolina 15% el cual el biosurfante

es una molécula que ayuda a la disminución de la tensión superficial de sólidos, líquidos y gases. Mientras que Franco (2019), señala que los ramnolipidos son capaces de remediar suelos contaminados debido a una fácil biodegradación.

Por ende, el nivel de *P. aeruginosa* encontrado en los tres tratamientos, el que posee mayor contenido es del tratamiento 1, por lo que se considera que puede existir una mejor incidencia en el suelo de la mecánica aplicando dosis de 25 % de CMB.

#### **b. *Rhodococcus spp.* (UFC.g<sup>-1</sup>)**

Las concentraciones de *Rhodococcus spp.*, para el tratamiento T1 presenta un valor de 1,547 (UFC.g<sup>-1</sup>), posteriormente en el tratamiento T2 se observa un valor de 2,852 (UFC.g<sup>-1</sup>), siendo el más alto con respecto a los otros tratamientos. Por último, el tratamiento T3 tiene una concentración 0,954 (UFC.g<sup>-1</sup>), de *Rhodococcus spp.* ( Figura 46).



**Figura 46.**Concentraciones de *Rhodococcus*., en los tres tratamientos.

*Rhodococcus spp.*, tiene la facultad de destruir contaminantes muchos de ellos hidrocarburos alifáticos, poliaromáticos y aromáticos. Castillo (2022), indica que *Rhodococcus spp* en un periodo de dos meses degradaron 60 % de aceite presente en el suelo. Cabrejos & Sipi3n (2019), indaga que *Rhodococcus spp.*, son bacterias degradativas con una mayor solidez a ambientes secos, sistemas con bajos nutrientes y temperaturas bajas.

S3nchez et al. (2004), señala que con una humedad del 20% y con baja presencia de nutrientes en el suelo se disminuye el 2,9 a 0,4 % de hidrocarburos. Seg3n Trujillo et al. (2018), indaga que *Rhodococcus spp.*, que utilizan a los hidrocarburos como principal fuente de carbono, fragmento que ayuda con la degradaci3n de hidrocarburos alcanos del 45 %, no sucede lo mismo con los hidrocarburos arom3ticos por lo cual se requieren otros tratamientos.

### 4.3 Efecto de los microorganismos benéficos en las concentraciones de THP y aceites-grasas.

Se utilizaron 9 unidades experimentales para contrastar la incidencia de un consorcio microbiano benéfico (CMB), con dos tratamientos y un testigo. Luego de haber obtenido los resultados finales de laboratorio, se procedió a verificar el nivel de eficiencia del consorcio microbiano en la remoción de hidrocarburos totales y aceites- grasas del suelo extraído de la mecánica automotriz.

Para ello se aplicó la fórmula usada por Cabrejos & Sipión (2019), la cual analiza el nivel de eficiencia del consorcio microbiano en el suelo.

$$\%Ef = \frac{Cis(ppm) - Cfs(ppm)}{Cis(ppm)} \times 100 \quad (1)$$

#### Significancia:

**%Ef**=Eficiencia del consorcio microbiano en el suelo en la remoción de hidrocarburos

**Cis**= Concentración inicial del suelo.

**Cfs**= Concentración final del suelo.

#### 4.3.1 Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de hidrocarburos totales (TPH).

Se obtuvieron primero las concentraciones iniciales del suelo de la zona de estudio, para conocer el nivel de presencia de hidrocarburos totales Tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados iniciales de concentraciones de hidrocarburos totales del suelo.

Parámetro	Valor inicial	Unidad
Hidrocarburos totales	16000	ppm

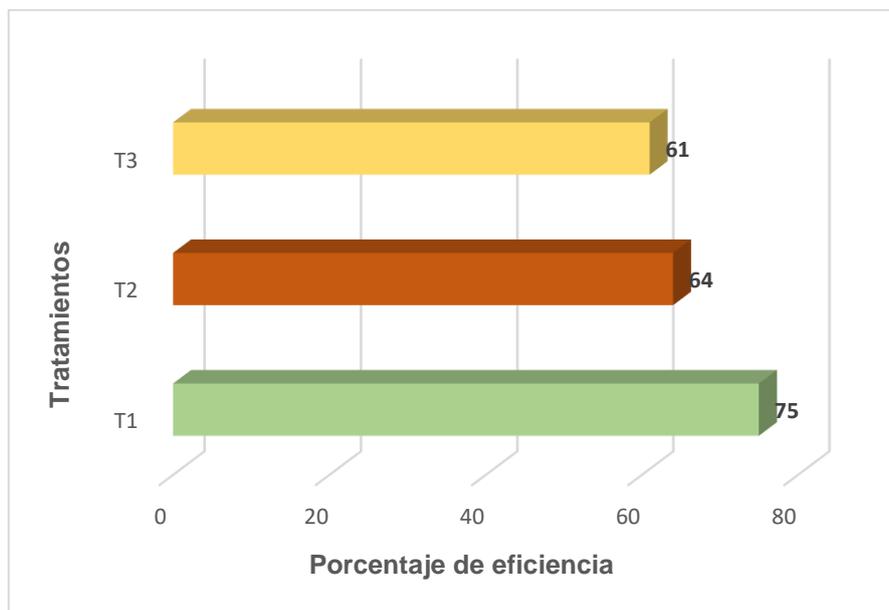
**Fuente:** Laboratorio BIONIKA (2022)

Según, la fórmula empleada se determinó los resultados obtenidos de absorción por cada tratamiento con microorganismos benéficos Tabla 8.

**Tabla 8.** Resultados de porcentaje de absorción de hidrocarburos totales.

Tratamiento	Dosis	Valor obtenido	Unidad
T1	20%	75,12	%
T2	15%	63,80	%
T3 (testigo)	1lt agua	60,93	%

A continuación, se presenta el análisis descriptivo de hidrocarburos totales del suelo de la mecánica automotriz Mejía con presencia de CMB (Figura 47).



**Figura 47.** Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de los hidrocarburos totales.

Como se puede observar en la figura 47, el nivel de absorción de los hidrocarburos totales por consorcios microbianos del suelo extraído de la mecánica es notoria con respecto de un tratamiento al otro, para lo cual se aplicó diferentes dosis: T1(20%), T2(15%) y T3 (testigo) de consorcios microbianos benéficos.

La dosis del 20% de CMB, logró obtener un porcentaje de eficiencia del 75,12% en la absorción de hidrocarburos totales en el suelo. Seguidamente la dosis de 15% de CMB tuvo un nivel de absorción de 63,8% de hidrocarburos totales. Y para el T3 que es el testigo, el cual se aplicó 1 litro de agua alcanzó una absorción de 60,93% de hidrocarburos totales.

Diferentes estudios mencionan que el uso de consorcios microbianos degrada con mayor facilidad los contaminantes presentes en el suelo, dependiendo del nivel de aplicación. Según Tirado et al. (2015), el proceso de degradación en algunos casos es lento por lo que es necesario identificar, qué microorganismos ayudan a acelerar el proceso de descontaminación del suelo.

Consortios microbianos tienen la capacidad de degradar petróleo con un promedio mayor al 80%, para HAP's de alto y bajo peso molecular degradan entre valores de 54% hasta 99% (Tirado et al., 2015).

Tirado et al. (2015), indaga qué estudios previos con niveles de HAP's con concentraciones de 300 a 1000 ppm indican como degradadores a: *Pseudomonas*, *Microbulbifer*, *Micrococcus*, *Gordinia*, *Alcanivorax*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus* entre otras. También algunos hongos pueden ser degradadores de hidrocarburos como el *Cladophialophora sp* como menciona Torres (2003), capaz de degradar compuestos alcalinizados (tolueno, xileno y etilbenceno).

Alvarez (2018), resalta que el uso de consorcios microbianos benéficos también ayuda a mejorar la calidad de los suelos por consiguiente el crecimiento y rendimiento de los cultivos es mucho más eficaz.

#### 4.3.2 Niveles de eficiencia de los consorcios microbianos en la degradación de aceites-grasas.

Para analizar los efectos que tiene un consorcio microbiano benéfico en el suelo, específicamente sobre aceites y grasas se obtuvo la línea base, del suelo como se visualiza en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados iniciales de aceites-grasas del suelo.

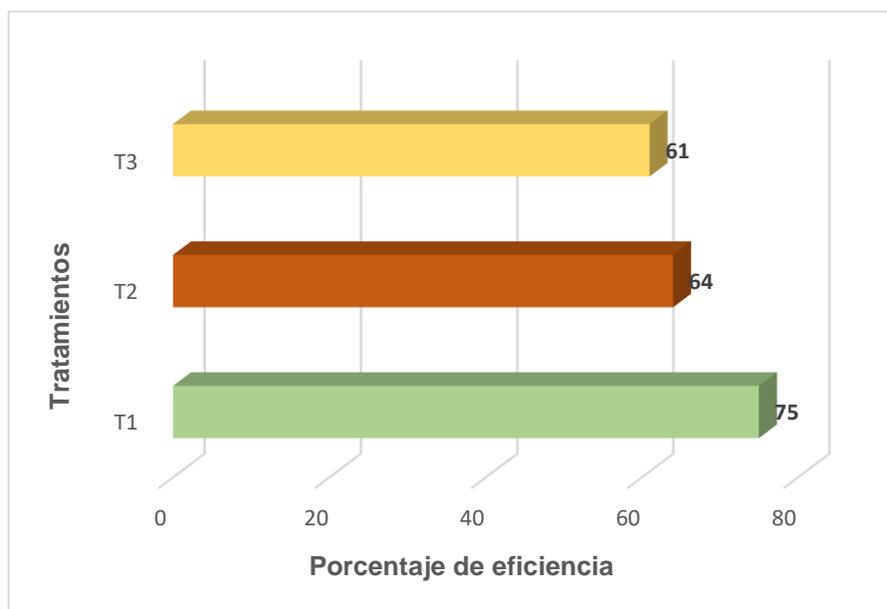
Parámetro	Valor inicial	Unidad
Aceites-grasas	1000000	ppm

**Fuente:** Laboratorio BIONIKA (2022)

Con la fórmula empleada, se establecieron los niveles de eficiencia de cada tratamiento del suelo con presencia de aceites- grasas Tabla 10.

**Tabla 10.** Resultados de porcentaje de absorción de aceites-grasas.

Tratamiento	Dosis	Valor obtenido	Unidad
T1	25%	75	%
T2	15%	64	%
T3 (testigo)	1lt agua	61	%



**Figura 48.** Niveles de remoción de aceites – grasas del suelo de la mecánica automotriz.

Según, la figura 48 los niveles de remoción de aceites y grasas del suelo de la mecánica automotriz empleando, el uso de consorcios microbianos benéficos logró valores significativos de absorción, tomando como referencia la línea base del suelo.

Para lo cual la dosis del 20% de CMB alcanzó un nivel de absorción de 75% esto correspondiente para el tratamiento 1, con respecto para el tratamiento 2 con dosis del 15% de CMB, el nivel de absorción corresponde a 64% de aceites y grasas del suelo de la mecánica automotriz. Por último, el tratamiento 3 (testigo) logró un nivel de absorción de 61% de aceites y grasas.

Cabrejos & Sipión (2019), indican que la biodegradación con la aplicación de consorcios microbianos tiene un mayor grado de efectividad que solo al usar un solo microorganismo, por poseer diversidad de genes los cuales ayudan a la actividad catabólica y resultado sinérgico de los mismos genes, que son de provecho para el proceso de biodegradación.

Cabrera & Unibio (2019), señalan según su estudio "Evaluación de la remoción de grasas y aceite en suelo contaminado con Diesel B10 y Biodiesel aplicando la tecnología OSEA II implementada por OEM CONSULTING S.A.S" presentó un resultado inicial de 247069 mg/kg (ppm) para aceites y grasas y en Biodiesel con 291642 mg/kg, para ello se aplicaron distintas dosificaciones. Los mejores resultados para la reducción de grasas y aceites es la de relación 1:50, para un periodo de 28 días con un nivel de reducción de 86%.

Así mismo para suelos con presencia de biodiesel la dosis que obtuvo mejores resultados de disminución de aceites y grasas fue de 1,25 y 1,37 correspondiente a la primera y segunda repetición, los valores alcanzados de reducción fueron entre 47% y 50% tomando como referencia los valores iniciales del suelo (Cabrera & Unibio, 2019).

Aplicando el uso de microorganismos en un suelo contaminado con aceites y grasas (32027 mg kg<sup>-1</sup> y la final 10115 mg kg<sup>-1</sup>), con un nivel de reducción de 59% en un periodo lento de más de 6 semanas, también se constató la presencia de dióxido de carbono aproximadamente a los 26 días y una gran población de bacterias hidrocarbonoclasticas en 35 días (Cabrejos & Sipión, 2019).

#### **4.4 Comparación de concentraciones de hidrocarburos totales, aceites- grasas con la Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo.**

##### **4.4.1 Hidrocarburos Totales.**

Para establecer los valores de hidrocarburos totales presentes en el suelo de la mecánica automotriz, se determinó una línea base y después de 4 meses y 20 días se tomaron muestras del suelo con presencia de consorcios microbianos benéficos, arrojando los siguientes datos como se verifica en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Resultados de hidrocarburos totales del suelo de la mecánica.

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Línea Base</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
<b>Hidrocarburos totales (TPH)</b>	mg/kg	16000	3980	5791	6250

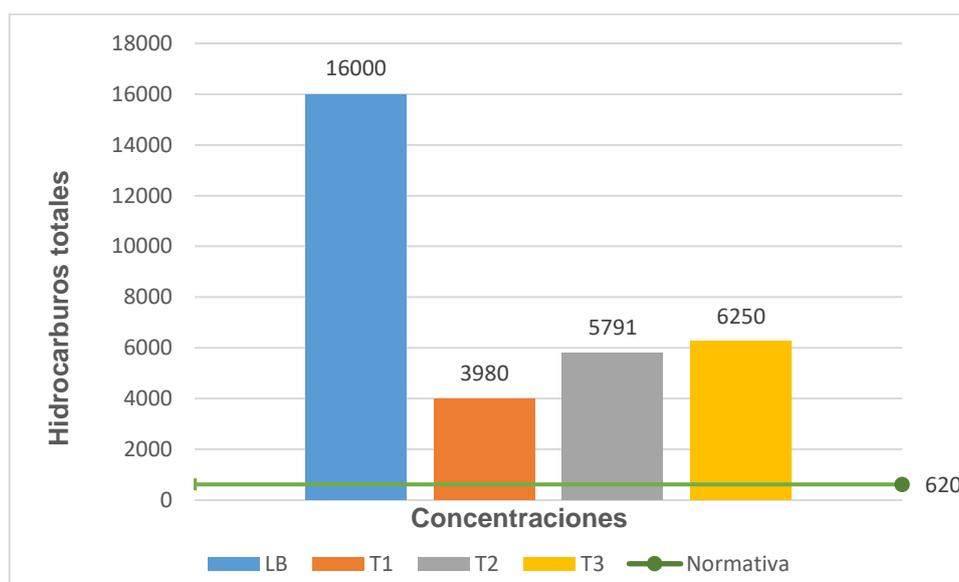
En base al Acuerdo Ministerial No. 097-A, Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Se establece en la Tabla 2: Criterios de Remediación (valores máximos permisibles), los límites permisibles de acuerdo al manejo del suelo (residencial, comercial, industrial y agrícola), con la finalidad de verificar los límites máximos de concentración de hidrocarburos totales como se observa en la Tabla (Código Orgánico del Ambiente, 2017) Tabla 12.

**Tabla 12.** Valores máximos permisibles de hidrocarburos totales en el suelo.

Elemento	Unidad	Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Hidrocarburos Totales (TPH)</b>	mg/kg	230	620	620	150

**Fuente:** (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

Seguidamente, se presenta el análisis descriptivo de la cantidad de hidrocarburos totales de la línea base, con los tres tratamientos empleados con respecto a la Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo.



**Figura 49.** Niveles de TPH con respecto a la normativa de calidad ambiental suelo.

En la figura 49, se visualiza la cantidad de hidrocarburos totales del suelo de la mecánica automotriz Mejía, para ello la línea base presenta una concentración de 16000 mg/kg de TPH. Durante un periodo de 4 meses y 20 días se emplearon 3 dosificaciones. La primera dosis de 25% de CMB correspondiente al tratamiento T1 presentan un nivel de concentración de 3980 mg/kg de TPH. El tratamiento T2 con una dosis de 15% de CMB presentó un nivel de concentración de 5791 mg/kg de hidrocarburos totales presentes en el suelo, para el tratamiento T3 (testigo) con dosis de 1 litro de agua se evidenció un nivel de concentración de 6250 mg/kg de hidrocarburos totales.

Según, la Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo el límite máximo permisible es de 620 mg/kg para uso de suelo comercial. Indicando que el suelo de la mecánica automotriz

presentaba una concentración superior de 16000 mg/kg de THP que representa el 2580% más que el límite permisible correspondiente a la línea base, superando los límites permisibles según los criterios de remediación del recurso suelo.

Al aplicar las dosis de consorcios microbianos benéficos, se evidencia como mejor alternativa la dosis de 25% con un nivel de reducción de 3980 mg/kg de hidrocarburos totales, con respecto a la línea base. Para la Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo los tres tratamientos superan los límites permisibles establecidos. Es importante señalar que el testigo presenta niveles de remoción de hidrocarburos significativa 6250 ppm, lo cual puede deberse a la remoción por fitorremediación con las plantas de baby girasol.

Vera (2016), menciona que según el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el territorio ecuatoriano, los límites permisibles de THP para suelos industriales corresponde a < 4000 mg/kg y < 1000 mg/kg en ecosistemas sensibles. El suelo contaminado tiene un nivel alto de hidrocarburos totales, donde se verifica que las características físicas, químicas y biológicas del suelo han sido alteradas debido a actividades antrópicas. Pero cabe indicar que la aplicación de CMB, no es suficiente para cumplir con los límites permisibles, pero se evidenció una disminución de hidrocarburos totales.

#### 4.4.2 Aceites y grasas

Se obtuvieron muestras de suelo de la mecánica automotriz, durante un periodo de aplicación de consorcios microbianos benéficos para así verificar los resultados de los tratamientos, y constatar si los valores se encuentran dentro de los límites permisibles de remediación del recurso suelo como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados de aceites y grasas del suelo de la mecánica.

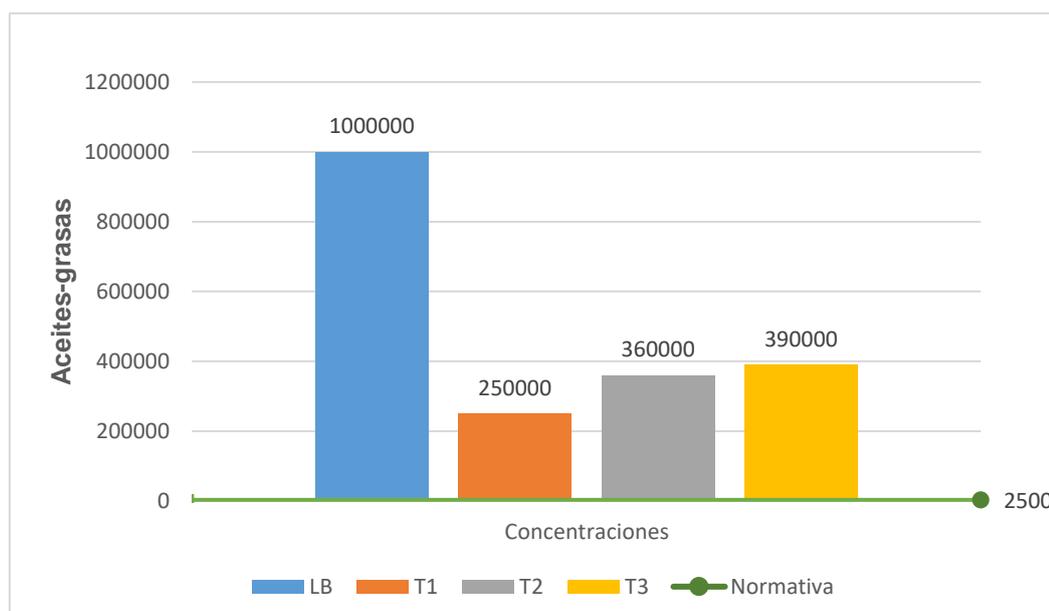
Elemento	Unidad	Línea Base	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Aceite y grasas	mg/kg	1000000	250000	360000	390000

De Acuerdo al Ministerial No. 097-A, Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Se toma como referencia la Tabla 2: Criterios de Remediación (valores máximos permisibles) (Anexo 2). Como referencia se establece el uso del suelo (residencial, comercial, industrial y agrícola), con el objetivo de verificar los límites máximos de concentración de aceites y grasas como se observa en la Tabla 14 (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

**Tabla 14.** Criterios de remediación de aceites y grasas.

Elemento	Unidad	Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Aceites y grasas	mg/kg	500	2500	4000	4000

Fuente: (Código Orgánico del Ambiente, 2017)



**Figura 50.** Niveles de aceites–grasas con respecto a la normativa de calidad ambiental suelo

Luego de obtener los datos a continuación, se presenta el análisis descriptivo de la cantidad de aceites y grasas de la línea base, con los tres tratamientos empleados con respecto a la Normativa de Calidad Ambiental del Recurso Suelo.

Como se observa en la figura 50, el nivel de concentración de la línea base es de 1000000 mg/kg de aceites y grasas, con respecto al tratamiento T1 con una dosis de 25% presenta niveles de 250000 mg/kg en aceites grasas. Para el tratamiento T2 con dosis de 15% muestra niveles de 360000 mg/kg de aceites y grasas en el suelo de mecánica. Seguidamente para el tratamiento T3 (testigo), dosis de 1 litro de agua se muestra concentraciones de 390000 mg/kg de aceites y grasas.

La normativa de calidad ambiental del recurso suelo señala como límite permisible 2500 mg/kg para uso de suelo comercial. Verificando que la línea base del suelo de mecánica automotriz muestra una concentración de 1000000 mg/kg de aceites y grasas, valor que supera el límite permisible de acuerdo a los criterios de remediación del recurso suelo (Anexo 3).

Luego de haber aplicado las dosis de consorcios microbianos durante un periodo de 4 meses y 20 días, se muestra como una mejor opción la dosis de 25 % correspondiente al tratamiento 1 el cual indica un nivel de reducción de 250000 mg/kg de aceites y grasas en relación a la línea base.

#### **4.5 Incidencia del consorcio microbiano benéfico en el crecimiento de la planta de baby girasol.**

Para conocer la incidencia del CMB en la planta de baby girasol se realizó la toma de datos de diferentes variables, con la recopilación de datos cuantitativos se ejecutó un análisis estadístico de cada variable, para establecer la eficiencia de las dosis aplicadas en el suelo sembrado de

semillas de baby girasol. Para llevar a cabo el análisis estadístico se tomó como referencia tres variables de la planta después de 2 meses y 20 días de la siembra, donde se obtuvieron datos cuantitativos como: longitud de la planta, altura del tallo de la planta y número de hojas de la planta.

Para el desarrollo estadístico se aplicó un estudio de varianza ANOVA y prueba Tukey. El estudio de varianza ANOVA, se usa para comparar las varianzas de las medias de distintos grupos. Mientras, que la prueba de Tukey nos ayuda a agrupar las medias en diferentes grupos y comparar entre sí, con la finalidad de verificar si alguna muestra difiere de una con la otra.

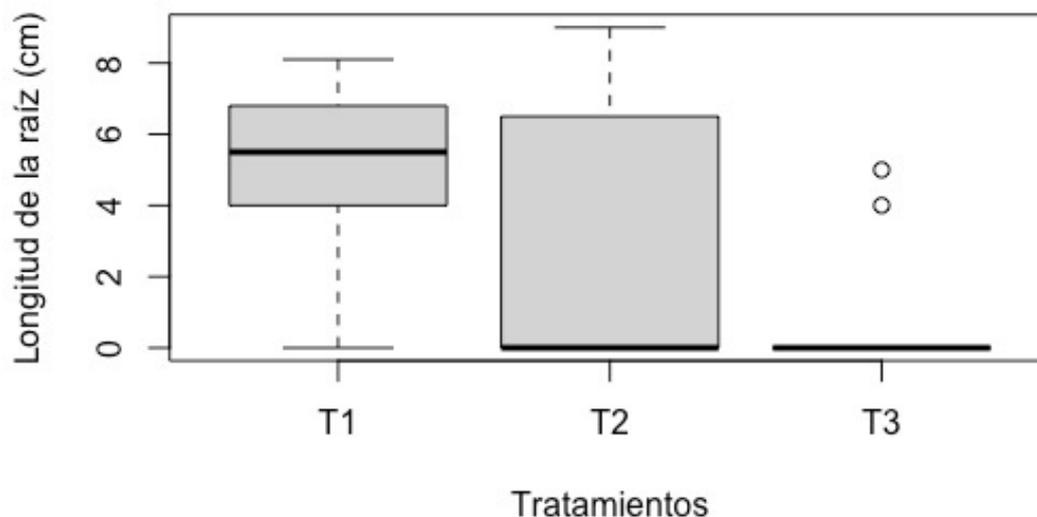
Para ello se estableció, una hipótesis nula e hipótesis alternativa para cada una de las variables de la planta antes mencionadas.

#### **4.5.1 Longitud de la raíz de la planta de baby girasol.**

Descripción de hipótesis:

- **Hipótesis nula:** Todos los valores de la longitud de la raíz de las plantas de los dos tratamientos son igual al testigo, con una confiabilidad del 95%.
- **Hipótesis alternativa:** Al menos uno de los valores de la longitud de la raíz de las plantas de los dos tratamientos es diferente al testigo, con una confiabilidad del 95%.

En el diagrama de caja se presentaron los resultados de la longitud de la raíz en la figura 46, en el tratamiento T1 se registraron mejores valores en comparación del tratamiento T2 y el testigo, ocupando datos mínimos de 0 y máximos 8,1 cm, cuya media oscila en 4,65, considerando que las cantidades que más se notan es por debajo de la media. En cuanto al tratamiento T3, se manifestaron datos atípicos dado que fueron los únicos valores hallados, por lo que en este tratamiento solamente crecieron dos baby girasoles. Cabe destacar que el testigo no se aplicaron microorganismos benéficos, por ello, se evidenció el 1% de la supervivencia de éstas dos en el suelo con altas concentraciones de HTP y aceites y grasas.



**Figura 51.**Diagrama de cajas de la longitud de raíces de las plantas de baby girasol.

Dentro del análisis del ANOVA para este parámetro, se evidenció en aceptar la hipótesis nula y rechazar la alternativa dado que no existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ ), esto se debe que el valor de la probabilidad fue mayor a  $p$ , lo cual, presentan similitud en sus datos registrados. Concluyendo que la aplicación del consorcio microbiano no es determinante para el crecimiento del baby girasol Tabla 15.

**Tabla 15.** Resultados obtenidos de la longitud de la raíz en la prueba ANOVA.

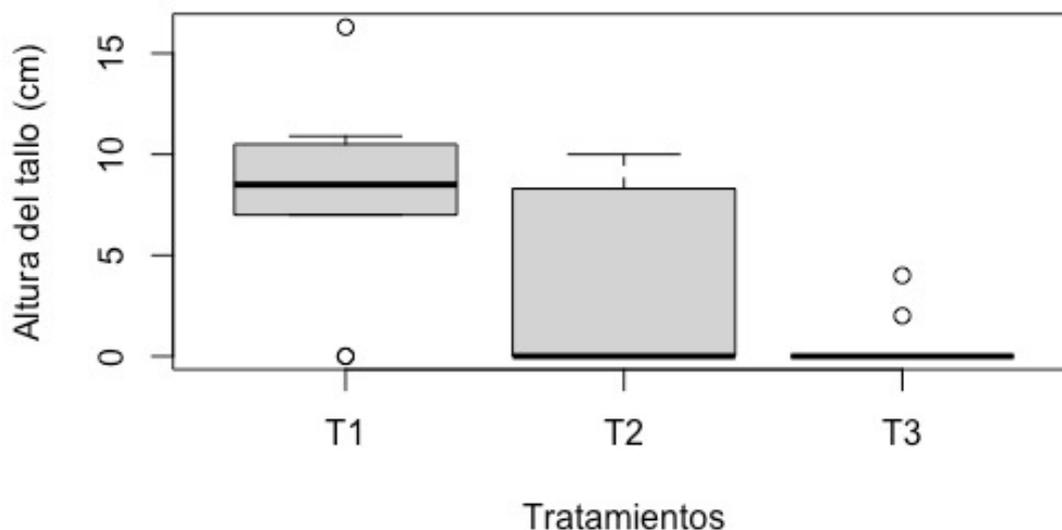
	df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	60,15	30,074	3,26	0,0559
Residuales	24	221,42	9,226		

Cambroneo et al. (2016), indica que se emplearon tres tratamientos en suelos contaminados con hidrocarburos, para el desarrollo de plantas de *Coriandrum sativum*, en donde se presentó una diferencia significativa en los tratamientos empleados con un valor de (10,30 -  $p < 0,05$ ). Mientras, que la relación cantidad de microorganismos presentes en el suelo con la longitud de la raíz de la planta se verificaron resultados positivos con valores de (T2= 0,12 y T1=0,35,  $p < 0,05$ ).

#### 4.5.2 Altura del tallo de la planta de baby girasol.

Descripción de hipótesis:

- **Hipótesis nula:** Todos los valores de la altura del tallo de las plantas de los dos tratamientos son igual al testigo, con una confiabilidad del 95%.
- **Hipótesis alternativa:** Al menos uno de los valores de la altura del tallo de las plantas de los dos tratamientos es diferente al testigo, con una confiabilidad del 95%.



**Figura 52.** Diagrama de cajas de la altura del tallo de las plantas de baby girasol.

En la figura 52, se detalla el diagrama de cajas de la altura del tallo, tomando en cuenta que la caja del tratamiento T1 se obtuvo buenos valores de este parámetro, logrando un valor máximo de 10,9 cm, evidenciándose que los datos acumulados se encuentran en la parte superior de la media (7,68 cm). Es necesario aclarar que constan de dos atípicos, siendo los únicos valores reconocidos como el 0 (plantas que no llegaron a germinar y 16,3 cm).

Acerca del análisis del ANOVA, se comparó los valores obtenidos de los tratamientos con el testigo, considerando que existe una diferencia significativa, donde se tomó una decisión en rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa debido que el valor de la probabilidad fue menor a la significancia ( $p < 0,05$ ), dicho resultado se detalla en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Resultados obtenidos de la longitud del tallo en la prueba ANOVA.

	df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	223,6	111,8	6,951	0,0416
Residuales	24	386	16,08		

Para ello se realizó la prueba de Tukey, para la identificación de la diferencia entre grupos del tratamiento con el testigo como se demuestra la Tabla 17, cuya comparación del T2 -T1 y T3 -T2 no presentaron significancia debido que el valor de  $p$  fue mayor a 0,05, es decir, que ambos comparten los mismos valores registrados y el único grupo que presentan disimilitud fue T3 -T1, esto se debe que en el tratamiento T3 crecieron 7 de 9 semillas de baby girasol, mientras que en el testigo solamente fueron T2, por ello se refleja esta significancia en este parámetro.

**Tabla 17.** Resultados obtenidos de la longitud del tallo en la prueba Tukey.

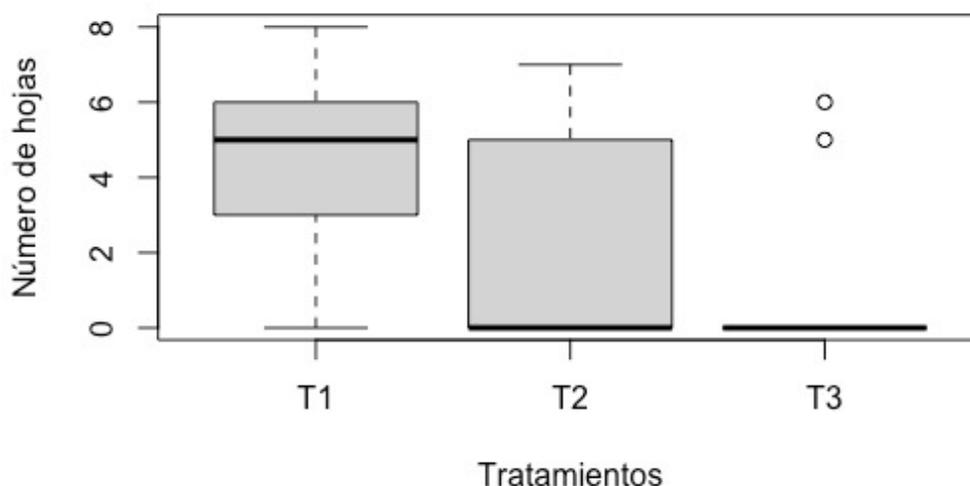
Tratamientos	diff	p adj	Decisión
T2-D15% -T1-D25%	-4,044	0,103	No significativa
T3-TES -T1-D25%	-7,022	0,002	No significativa
T3-TES-T2-D15%	-2,977	0,275	No significativa

Cruz et al. (2015), según su estudio al sembrar plántulas de frijol (*Phaseollus vullgaris*), en suelos contaminados por derivados de petróleo, con respecto a la altura del tallo indica que existió una diferencia significativa con la media de los datos. Los cuales presentaron los siguientes resultados T1=5,24 cm, T2=14,84, T3= 14,69 y Control= 12,30 cm en donde se evidenció una diferencia significativa con un valor de p – value =0.05473.

#### 4.5.3 Número de hojas de la planta de baby girasol.

##### Descripción de hipótesis:

- **Hipótesis nula:** Todos los valores del número de hojas de los dos tratamientos son igual al testigo, con una confiabilidad del 95%.
- **Hipótesis alternativa:** Al menos uno de los valores del número de hojas de los dos tratamientos es diferente al testigo, con una confiabilidad del 95%.



**Figura 53.** Diagrama de cajas número de hojas de la planta de baby girasol.

Con respecto al número de hojas del baby girasol en la figura 53, se exhibe el diagrama de cajas, donde el tratamiento T1 se destacó por obtener una superioridad en la cantidad de hojas siendo de 8, en cuanto al tratamiento T2 registró un valor máximo de 7. En lo referente al testigo de las dos únicas plantas desarrolladas lograron puntuar de 5 y 6 hojas, lo cual, estos resultados fueron localizados como atípicos en lo que respecta a su caja.

En cuanto al análisis del ANOVA, se optó por aceptar la hipótesis nula y rechazar la alternativa, dado que el valor obtenido en la probabilidad fue mayor a la significancia ( $p > 0,05$ ) expuesta en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Resultados obtenidos del número de hojas en la prueba ANOVA.

	<b>df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Tratamientos	2	47,19	23,593	2,98	0,0698
Residuales	24	190	7,917		

Vera, (2016), señala que los resultados obtenidos mediante la prueba Tukey, con respecto al número de hojas de la plántula de rábano sembrada en suelo contaminado por aceite sin la presencia de consorcios microbianos, durante un periodo de un mes, fueron superiores al valor de la significancia (0,05), lo que quiere decir que las medias de los tratamientos establecidos son superiores al tratamiento testigo. Por consiguiente, la diferencia de medias existe entre los tratamientos, pero no sucede para el tratamiento del testigo.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos de la presente investigación, se plantean las siguientes conclusiones:

- La inoculación de consorcios microbianos benéficos en suelos contaminados con presencia de hidrocarburos totales y aceites – grasas, es una opción sustentable con el ambiente por su fácil preparación y bajo valor económico. Sin embargo, en este estudio no se llega a cumplir con los tratamientos establecidos.
- Las características iniciales del suelo de la mecánica automotriz Mejía, presentan altas concentraciones de hidrocarburos totales y aceites- grasas.
- El tratamiento T1 con dosis de 25% de CMB es el tratamiento más eficaz para absorción en concentraciones de hidrocarburos totales en el suelo, ya que se presentó un valor inicial de 16000 mg/kg y con la aplicación de consorcios microbianos benéficos, durante el periodo de 4 meses y 20 días se obtuvo el 75,12% de eficiencia respecto al T1.
- En cuanto a las concentraciones de aceites – grasas se presentó un valor inicial de 1000000 mg/kg, demostrando que el tratamiento T1 obtuvo mayor eficacia con una dosis de 25 % de CMB, luego de 4 meses y 20 días de la aplicación del consorcio microbiano se consiguió un nivel de absorción del 75 % de aceites-grasas.
- En base a los Criterios de Remediación de Suelos, del acuerdo ministerial Normativa 097-A se establece como límite permisible 600 mg/kg para uso de suelo comercial, referente a hidrocarburos totales (THP). Para lo cual se obtuvo un valor inicial del suelo de 16000 mg/kg. Mientras, que para los tratamientos: T1(25%) = 3980 mg/kg, T2(15%) =5791 mg/kg y T3(testigo)=6250 mg/kg. Verificando que el valor inicial del suelo y de los tratamientos establecidos, superan el límite permisible indicado por la Normativa Ambiental del Recurso Suelo. Pero existe un nivel de disminución para el tratamiento T1 (25%) en referencia a la línea base.
- Con referente al parámetro de aceites – grasas se establece como límite permisible 2500 mg/kg, para uso de suelo comercial según la Normativa Ambiental vigente AM 097-A, Criterios de Remediación de Suelos. Se obtuvo un valor inicial de 1000000 mg/kg del suelo proveniente de la mecánica. Por otro lado, para los tratamientos establecidos se determinaron los siguientes resultados: T1(25%) =250000 mg/kg, T2(15%) =360000 mg/kg y T3(testigo)=390000 mg/kg. Comprobando que tanto el valor inicial y de los tratamientos superan los límites máximos permisibles de la Normativa Ambiental del Recurso Suelo. Pero

hay que tomar en cuenta, que existe un nivel disminución de aceites- grasas correspondiente al tratamiento T1 (25%) en relación a la línea base.

- Según la incidencia del consorcio microbiano benéfico aplicado en el suelo donde se sembró las semillas de baby girasol, se tomar como referencia tres parámetros: longitud de la raíz, altura del tallo y número de hojas de acuerdo a las dosis aplicadas el tratamiento T1 (25%) obtuvo mejores resultados de desarrollo de los tres parámetros, mientras que, en las dosis 15% y testigo el desarrollo es limitado y escaso.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

En base a las conclusiones planteadas se establecen las siguientes recomendaciones:

- Aplicar nuevas dosis de consorcios microbianos benéficos en suelos contaminados con hidrocarburos y aceites-grasas.
- Utilizar microorganismos provenientes de la rizosfera para la preparación de nuevos consorcios microbianos benéficos.
- Evaluar el desarrollo de otras plantas, en suelos remediados de hidrocarburos totales para verificar su crecimiento.
- Emplear el uso de consorcios microbianos benéficos, con nuevos contaminantes derivados del petróleo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acruta, P. L. F., & Leyva, L. A. Y. (2021). *Recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando biomasa bacteriana: Revisión sistemática y meta- análisis* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83959/Acruta\\_PLFB-Leyva\\_LAY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83959/Acruta_PLFB-Leyva_LAY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Acuario, V. D. R., & España, I. C. K. (2016). Aislamiento, caracterización y evaluación de *Trichoderma* spp. como promotor de crecimiento vegetal en pasturas de Raygrass (*Lolium perenne*) y trebol blanco (*Trifolium repens*). *La Granja*, 25(1), 53. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.05>
- Acuña, A., Pucci, G., Morales, J. M., & Pucci, O. (2010). Biodegradación de petróleo y sus derivados por la comunidad bacteriana en un suelo de la patagonia Argentina. *Universidad Nacional de La Patagonia*, 30, 8. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-25562010000100007](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562010000100007)
- Adjimani, J. P., & Thomas, E. (1988). Stereochemical aspects of iron transport in *Mycelia sterilia* EP-76. *Journal of Bacteriology*, 170(3), 1377–1379. <https://doi.org/10.1128/jb.170.3.1377-1379.1988>
- Agroquímicos Arca, S. . (2018). *Composición del suelo*.
- Agudelo, O., & Brown, J. (1987). *Manejo del cultivo de girasol*. (p. 23).
- Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353–361. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Alvarez, M. (2018). *Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay-Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Alvarez, M., Tuca, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). *Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (Fragaria sp.) Incidence of the inoculation of beneficial microorganisms in the strawberry (Fragaria sp.)*. 9(1), 33–42. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>
- Andrino, J. A. (2016). *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil*. 125.
- Arbelo, A., & Ponce, M. (2011). *El girasol en el Uruguay. Analisis de la NIC 41 agricultura y su aplicacion en la contabilizacion del cultivo*.
- Arrieta, M. O., Rivera, P. A., Arias, L., Rojando, A. B., Ruiz, O., & Cardona, A. S. (2012). Biorremediación de un suelo con diésel mediante el uso de microorganismos autóctonos.

- ATSDR. (1999). Hidrocarburos totales de petróleo. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services*, 6. [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
- Balarezo, O. (2019). *Obtención de vermicompost con aplicación de microorganismos benéficos utilizando residuos orgánicos domésticos*. 83.
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (2005). Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura CIRN*, 1–15. [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)
- Barin. (2021). *Hidrocarburos industriales y sus efectos en la salud*. (p. 2).
- Barrios, Y. (2011). Biorremediación: una herramienta para el saneamiento de ecosistemas marinos contaminados con petróleo. *Biotecnología Aplicada*, 28(2), 60–76.
- Benavides, L. de M. J., Quintero, G., Guevara, V. L. A., Jaimes, C. C. D., Guitiérrez, R. M. S., & Miranda, G. J. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(5), 10. <https://doi.org/10.22490/24629448.351>
- Bloem, J., W. Hopkins, D., & Benedetti, A. (2009). Microbiological methods for assessing soil quality. In *Microbiological methods for assessing soil quality* (Issue October). <https://doi.org/10.1079/9780851990989.0015>
- Boyd, C. E. (2018). *Relaciones carbono- nitrógeno en fertilización de estanques y sistemas de biofloc*. Responsible Seafood.
- Buendía-Ríos, H., Cruz, F., Meza, C., & Arévalo, J. (2014). *Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. I*, 113–121.
- Bueno, D. J., Silva, J. O., & Oliver, G. (2003). Hongos ambientales en una biblioteca: un año de estudio. *Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia*, 051, 27–34.
- Cabello, M., & Arambarri, A. (1993). Efecto de la contaminación con hidrocarburos sobre geohongos saprotrofos. *Boletín Micológico*, 8, 55. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.1993.8.0.1157>
- Cabrejos, D. K., & Sipión, S. L. (2019). *Efecto de consorcios microbianos aerobios en la biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz en la provincia de Chiclayo*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo- Facultad de Ciencias Biológicas.
- Cabrera, L. L. M., & Unibio, S. M. T. (2019). Evaluación de la remoción de grasas y aceites en suelo contaminado con diésel B10 Y biodiésel aplicando la tecnología OSEA II implementada por EOM Consulting S.A.S. *Fundación Univerdidd de América*, 136.

- Cambroneo, M., Cheung, S., Venegas, M., Umana, F., & Cubrero, S. (2016). Evaluación de la eficiencia de diferentes abonos sobre el crecimiento de *Coriandrum sativum* y el efecto en la riqueza de microorganismos en el suelo. *Universidad Nacional Heredia, Costa Rica*. [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/220632\\_e0213b8162404c499bac715dc06d30d4.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/220632_e0213b8162404c499bac715dc06d30d4.html)
- Cañas, R. E. (2018). *La bacteria Bacillus Subtilis genera carbonatos de calcio o cal, sustancias que fortalecen el suelo*. (p. 3). <https://www.bioquirama.com/pdf/La-bacteria-Bacillus-subtilis.pdf>
- Cando, R. M. Á. (2011). Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. In *Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Carrillo, L. (2016). Microbios del suelo. *Manual de Microbiología Agrícola, 1*, 69–118. [http://www.microbiota.com.ar/sites/default/files/magric13\\_3-4.pdf](http://www.microbiota.com.ar/sites/default/files/magric13_3-4.pdf)
- Castillo, C. E. (2022). Producción y evaluación de un biosurfactante para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Univeridad Autonoma Metropolitana*, 147. <https://doi.org/10.24275/uama.6738.9061>
- Castro, M. J. (2016). *Uso potencial de Rhodococcus sp.* (p. 5).
- Cervantes, M. J., Orihuela, E. R., & Rutiaga, Q. J. (2017). Acerca del desarrollo y control de Microorganismos en la Fabircación de Papel. *Instituto Tecnológico de Aguacalientes*, 10.
- Chanqueo, L., & Morales, P. (2019). Actinomyces. *Revista Chilena de Infectología*, 36(3), 369–370. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182019000300369>
- Chávez, J., Torres, C., Espinosa, E., Diego, Z., Villafuerte, A., Zambrano, F., & Velázquez, J. (2020). *Efectos de la cepa nativa de Trichoderma sp. y lixiviado de vermicompst bovino sore el crecimiento foliar y contenido de clorofila en arroz en fase de semillero*. 7, 23–31.
- Chávez, M. A., & Vásquez, G. J. E. (2021). Efecto de la aplicación de tres dosis de *Bacillus subtilis* en tres variedades de fréjol arbustivo. *Universidad Central Del Ecuador*. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2657>
- Cisneros, C. A. R., Sánchez de P, M., & Menjivar, J. C. F. (2016). Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. *Bioagro*, 28(2), 95–106.
- Código Orgánico del Ambiente, C. (2017). Ministerio del ambiente del Ecuador: Acuerdo ministerial N° 097A. In *Registro oficial TULSMA* (pp. 1–184).
- Condori, X. (2021). Identificación y clasificación de microorganismos eficientes del suelo, en la estación experimental Patacamaya. *Universidad Mayor de San Andrés*, 1–139.

- Cota-Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Rios, M., & Martinez-Martinez, A. (2018). Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Universidad de Sonora*, 21(1), 37–44. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.811>
- Criollo, C. J. F. (2020). *Caracterización morfológica y análisis de crecimiento de tres variedades de girasol ( Helianthus annus L ) para flor de corte*. Universidad Central del Ecuador.
- Cruz, A. B., J. Etchevers, B., Castillo, R. F. del, & C, G. (2007). La calidad del suelo y sus indicadores. *Brain and Nerve*, 59(8), 825–830.
- Cruz, A. D., & Lincango, T. R. (2021). Evaluacion del proces de biorremediacion de suelos contaminados por hidrocarburo totales de petroleo utilizando Trichoderma sp. y Bacillus pumilus mediante el sistema de biopls escala de laboratorio. In *Tesis*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Cruz, P., Espinoza, G., Gamboa, I., & Segura, N. (2015). *Influencia del tipo de luz en plántulas de frijol (Phaseolus vulgaris)*. 1–1. [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/124173\\_7655e21b28a34673af5b694ff04100db.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/124173_7655e21b28a34673af5b694ff04100db.html)
- Docampo, R. (2010). *La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola*. 81–89. Almacena y suministra los nutrientes para las plantas (macro y micronutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de intercambio aniónico y estabiliza la acidez del suelo). Estabiliza y mantiene las partículas del suelo
- FAO. (1997). *Ecología y enseñanza rural* (p. 57).
- Feijoo, M. (2016). *Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores*. 41.
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V., & Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia Del Suelo*, 27(1), 103–114.
- Fertilab. (2018). El color del suelo como indicador de su fertilidad. *FertiLab*, 1–3. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Color-del-Suelo-como-Indicador-de-su-Fertilidad.php>
- Fitoagícola. (2021). *Semillas de Girasol*.
- Franco, A. Y. J. (2019). *Detección de bacterias con potencial de biorremediación de suelos contaminados con aceite usado de motor*. [Univeridsd de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39598/1/Tesis Yamil Franco Alarcon.pdf>
- Franco, C. M. (2010). Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Uniersidad Javeriana, Bogota*, 16(2), 239–242.

- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García, M. del C. (2011). *Rehabilitación de un suelo con bajo perfil de nutrientes aplicando biosólido como fertilizante*. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.
- García, Y., & Ramírez, W. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–137.
- Garden, seeds market. (n.d.). *Girasol ornamental big smile*. <https://gardenseedsmarket.com/girasol-ornamental-big-smile-grandes-flores-amarillas.html>
- Gomez, A. J. (2019). El cultivo del girasol. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación España*, 32.
- González, R. R. J. (2011). *Aplicación del ramnolípido producido por Pseudomonas aeruginosa en el lavado y biodegradación de compuestos presentes en suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo* [Instituto Politécnico Nacional]. [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19830/Gonzalez\\_Reyes\\_Jose\\_Roberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19830/Gonzalez_Reyes_Jose_Roberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guevara, G. M. F. (2010). Aislamiento e identificación de microorganismos solubilizadores de potasio a partir de muestras de suelo Y raíces de cultivos de alcachofa de la localidad de la Remonta, cantón Cayambe. In *Escuela Politécnica del Ejército*.
- Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). Trichoderma: Agricultural and biotechnological importance, and fermentation systems for producing biomass and enzymes of industrial interest. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(1), 98–112.
- Hernández, G. L. E. (2018). *Aislamiento y caracterización de una bacteria hidrocarbonoclástica de la Región de Valparaíso y su aplicación en biorremediación de hidrocarburos*. [Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43374/3560900255036UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, K. (2015). *Biorremediación de lixiviados de biopilas de tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos*. 61. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/8896>
- Higa, Terou. (2013). Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Higa, Teruo, & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective for a sustainable agriculture. *Agriculture*,

- Hoyos, C. L., Cardona, A., Osorio, W., & Orduz, S. (2016). Efecto de diversos aislamientos de *Trichoderma* spp. en la absorción de nutrientes en frijol (*Phaseolus vulgaris*) en dos tipos de suelo. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 268. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4183>
- Hudson, N. (2006). *Conservación del suelo* (Reverté (ed.)).
- Hurtado, C. (2016). *Uso de bacillus subtilis como biofungicida en agricultura y jardinería*.
- Hurtado, P. (2012). *Protocolo para la medición de características funcionales Proyecto Inventario Florístico de la Región Madidi*. 13. <http://www.mobot.org/mobot/research/madidi/protocolos/ProtocoloCaracterFuncionales.pdf>
- IGAC. (2018). Muestreo de suelos para análisis y biológico. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 8.
- INTA, I. N. D. T. A. (1997). Guía práctica para el cultivo de girasol. *INTA Ediciones*, 1–163. <http://inta.gob.ar/documentos/guia-practica-para-el-cultivo-de-maiz/>
- INTAGRI. (2018). Disponibilidad de nutrientes y el pH del suelo. *Artículos Técnicos de INTRAGI*, 4.
- Iturbe, A. R. (2010). Qué es la biorremediación. In *Universidad Nacional Autónoma de México* (Vol. 4, Issue 1, pp. 88–100).
- Jaramillo, J. D. F. (2002). La estructura del suelo. *Introducción a La Ciencia Del Suelo*, 97–116.
- Julca, O. A., Meneses, F. L., Blas, S. R., & Bello, A. S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)*, 24, 49–61. La materia orgánica en el suelo también facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas. Por ejemplo, se sabe que la capacidad del suelo para adsorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumenta con
- Kishore, D., & Mukherjee, A. k. (2007). *Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of Bacillus subtilis and Pseudomonas aeruginosa strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India*. 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.032>
- Konijnenburg, A. Van. (2006). *Agricultura orgánica el suelo: sus componentes físicos*. (Vol. 2, pp. 4–10). [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498\\_script-tmp-inta\\_material\\_didactico\\_nro\\_01\\_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)
- Kumar, M., & Mahendra, V. (2020). Thiobacillus. *Beneficial Microbes in Agro- Ecology*.
- Lora, C. C. E. del R., Otiniano, G. N., & Robles, C. H. M. (2021). Degradación del aceite lubricante por *Pseudomonas aeruginosa*. *Universidad Nacional de Trujillo*, 41(2), 213–220. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbbiol/article/view/4054/4957>

- Luján, D. (2019). Uso de *Pseudomonas aeruginosa* en biorremediación. *Universidad Federal de Minas Gerais*, 23(1), 11. [https://smbb.mx/wp-content/uploads/2019/08/5.-Lujan\\_2019.pdf](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2019/08/5.-Lujan_2019.pdf)
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma spp.* y su función en el control de plagas en los cultivos. 28(1), 1–11. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v28n1/rpv01113.pdf>
- Martínez, P. (2017). Efectos del petróleo sobre la salud. *Greenpeace*, 3. <http://archivos.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/efectos-del-petr-leo-sobre-la.pdf>
- Martínez, V. E., & López, F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas químicas de suelo. *Sociedad Mexicana de La Ciencia Del Suelo*, 10.
- Mendoza, G. (2019). *Como los girasoles ayudan al medio ambiente*.
- Mendoza, M. (2019). *Definiciona (definición y etimología)*. <https://definiciona.com/suelo/>
- Mendoza, S. J. P., & Flores, B. S. C. (2017). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de Guarumales-Celec. In *Scielo*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27211/1/tesis.pdf>
- Moal, A., Devillard, E., & Brinch, K. (2020). *Morfología y germinación de la spora de Bacillus* (p. 4).
- Mosaid. (2018). Magnesio para la Nutrición Balanceada de los Cultivos. *AgriSight*, 14.
- Muñoz, C. (2016). “ADAPTACIÓN DEL GIRASOL (*Helianthus annuus L.*) A SUELOS CONTAMINADOS CON GASOLINA Y TRATADOS CON ESTIÉRCOL.” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Muñoz, S. D. (2016). Evaluación de la eficacia de *Trichoderma sp* y *Pseudomona sp* para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Universidad Politécnica Salesiana Sede-Quito*, 125.
- Ñustez, C. D. C. (2012). Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio combustible. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 113.
- Ochoa, C. D. C., & Montoya, R. A. (2010). Consorcios microbianos: Una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Universidad Nacional de Colombia.*, XVIII(2), 55–74.
- Ondarse, Á. D. (2021). *Hidrocarburos*. Etecé.
- ONU. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- ONU. (2019). Ph del suelo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 2.

- Ortega, R., & Martínez, M. (2022). *La estructura del suelo es un indicador que afecta directamente la producción*. MundoAgro.
- Ortiz, E., Núñez, R., Fonseca, E., Oramas, J., Almazán, V., Cabranes, Y., Miranda, A., Barbán, O., Martínez, C., Díaz, Y., & Borges, G. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista Contribucion a La Educación y La Proteccion Del Meio Ambiente.*, 6, 17. <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/135/3/Ponce Contreras%2C Daniela.pdf>
- Pasaye, A. L., Márquez-Benavides, L., Ignacio-De la Cruz, J. L., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2020). Impacto del aceite residual automotriz en un suelo: remediación por bioestimulación. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 11(2), 84–93. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2020.110200084>
- Pennstate, C. of agricultura sciences. (2018). *Determinacion de longitud radical* (p. 2).
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Velarde, M. J. (2011). Edafología. *Edafología* 1, 170. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pesántez, M., & Castro, R. (2016). Potencial de cepas de *Trichoderma* spp. para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo. *Escuela Superior de Chimborazo*, 16. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/541/html>
- Pinzón, J. A. (2009). *Pseudomonas*. *Encyclopedia of Microbiology*, 245–260. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00203-0>
- Quiliche, D. J. P., Corte, L. A., Rodríguez, G. P. M., Silva, V. M., & Huayna, D. L. A. (2016). *Aislamiento e identificación de Pseudomonas aeruginosa potencialmente degradadoras de crudo de petróleo, provenientes de suelos en talleres de automóviles en el Norte Chico*. 6(1), 63–69. <https://revistas.unjpsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/10/10>
- Quiñonez, E. (2018). *Fusarium* spp (p. 4).
- Ramírez, O., Rivera, A., Marin, L., Rojano, A., & Gallo, A. (2016). Biorremediación de un suelo con diésel. *Gestión y Medio Ambiente*, 15(1), 27–39.
- Ramón, M., Blanquer, G., Manuel, J., & Asensio, I. (2009). *La estructura de un suelo*.
- Ramón, M. H., Gisbert, B. J., & Ibañez, S. (2010). La estructura de un suelo. *Univeridad Politecnica de Valencia*, 8(9), 1–9.
- Ramos, J. (2018). *Pseudomonas aeruginosa*. 4.
- Reuter, C. (2018). *Biorremediación con pseudomonas* (p. 3).
- Riojas, G. H. H., Torres, B. L. G., Mondaca, F. I., Cortes, B. J., & Gortáres, M. P. (2010). Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista*

*Química Viva*, 3(9), 120–145.

Rojas, H. (2014). *Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica*. Agraria La Molina, Lima, Perú.

Rojas, P. J. (2012). Densidad aparente. 1, 1(1), 3. [www.inta.gov.ar/saenzpe](http://www.inta.gov.ar/saenzpe)

Sakurad, A. (2012). *Achromobacter xylosoxidans*. *Retrato Microbiológico*, 29(4), 453–454. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182012000400016>

Salazar, G. M. (2018). Indicadores de calidad del suelo. *Icassp*, 21(3), 295–316.

Salazar, L. A. M., Ordoñez, G. A. C., Hernandez, S. D., & Castaño, L. M. (2014). Actinomicetos aislados del suelo del jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica Año XIX*, 19(2).

Sánchez, C. R., & Guerra, R. P. (2022). *Pseudomonas* spp. benéficas en la agricultura. *Univerdidad Autónoma Chanpingo*, 715–725.

Sánchez, N., Sandoval, A., Díaz, C. F., & Serrano, J. (2004). El género *Rhodococcus*. *Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México*, 24. [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-25562004000100005&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-25562004000100005&script=sci_arttext)

Sandoval, H. M., Nani, G., Sandoval, L. C., Rivera, S., Fernandez-Lambert, G., & Alvarado-Iassman, A. (2020). *Parcialmente Saturados Para El Tratamiento De Aguas Residuales Porcinas † [ Evaluation of the Performance of Vertical Pa ... June*.

Sandoval, R. F., Cortéz, P. Y., Reyes, R. L., & Hernández, R. I. (2017). Evaluación de la remediación del suelo contaminado con aceite crudo utilizando microorganismos de montaña. *Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas Campus Poza Rica-Tuxpan*, 4(13), 25–32.

Sandoval, V. J. E. (1989). La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo: una pauta para estimar la frecuencia de riego. *Ipa Carillanca*, 10–13.

Seybold, C. ., Herrick, J. ., & Brejda, J. . (199 C.E.). Soil resilience:A fundamental componeny of soil quality. *Soil Science*, 164, 11.

Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>

Soberón, C. G. (2018). *Pseudomonas aeruginosa*:una bacteria fascinante y temible. *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Tarazona, A. (2021). *La importancia de los microorganismos en la agricultura*.

Tenesaca, Q. C. M. (2015). *Fenología y profundidad radical del cultivo de girasol (Helianthus*

- annuus*) var. *Sunbright* en el sector Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tunguagua. (Vol. 13, Issue 3).
- Terrazas, D. M. A., & Rabery, H. S. (2010). Germinación de semillas de girasol sembradas a diferentes profundidades. *Universidad Nacional de Asunción*, 18(2), 220–229.
- Tirado- Torres, D., Marmolejo, Y., Romo- Gómez, C., & Palacios, R. A. (2015). *Participación de consorcios microbianos en la biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos*. (L. L. . Science Associated Editors (ed.); Issue January 2017).
- Tirado, T. D., Acevedo, Sandoval, O., Romo, G. C., & Marmolejo, S. Y. (2015). Participación de consorcios microbianos en la biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos. *Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 2, 77–85.
- Toalombo. (2012). Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (*Allium*). In *Toalombo*.
- Toresani, S., Bonel, B., Ferreras, L., Magra, G., Dickie, M. J., & Galarza, C. (2017). Indicadores biológicos, físicos y químicos del suelo en sistemas de labranza y fertilización. *Revista Soja*, 42(1), 77–81.
- Torres, C. J., Aguilar, E. C., Vázquez, H., Solís, M., Gómez, E., & Aguilar, R. J. (2022). Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México. *Revista SIEMBRA*, 9, núm.1, 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3500>
- Torres, R. D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Universidad Central de Venezuela*, 6. <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/informe1.htm>
- Toxic, A. for. (1998). *Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)*. 2. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts123.html#](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html#)
- Trujillo, J. M., Torres, M. M. A., & Mahecha, P. J. D. (2018). El recurso suelo, un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Universidad de Los Llanos*, July, 11. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- UNAM. (2006). Biorremediación: organismos que limpian el ambiente. *Universidad Mexico Americana Del Norte*, 36, 10. [https://www.itopf.org/uploads/translated/Final\\_TIP\\_13\\_2011\\_SP.pdf](https://www.itopf.org/uploads/translated/Final_TIP_13_2011_SP.pdf)
- Valparaiso., P. U. C. de. (2020). *Consortios microbianos:funciones ecosistemicos para una agricultura sustentable*.
- Vásquez, M. C., Figueroa, J. T. G., & Quintero, A. D. P. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1),

141–157. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/15579/16340>

- Velásquez, J. A. (2018). 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), 151–168.
- Vera, C. D. F. (2016). *Composición de microorganismos eficientes autóctonos de un suelo contaminado por hidrocarburos*. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/279/1/TMA81.pdf>
- Villalobos, A. V. (2015). Fusarium spp. (Hypocreales: Nectriaceae) Podredumbre de raíces. *Dirección General de Sanidad Vegetal, Dirección Del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria*, 1–18.
- Villalobos, R. O. (2018). Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo en microcosmos por hongos aislados de suelo contaminado. In *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*.
- Villavicencio, V. F. A. (2018). La contaminación por hidrocarburos en los talleres mecánicos del área urbana en el cantón Jipijapa. In *Universidad Estatal del Sur de Manabí*.
- Vistoso, G. E., & Martínez, L. J. (2020). Potasio disponible y fertilización en suelos de la región de Los Ríos. *Inia*, 254, 1–4. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/4037/NR42366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vital-vilchis, I., Quiñones-aguilar, E. E., Hernández-montiel, L. G., Laboratorio, C. P. T., & Fitopatología, D. (2019). *Selección de un sustrato para la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de girasol ornamental en campo*. 4, 55–68.
- Volke, T., & Trejo, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados* (I. N. de Ecología (ed.)). [https://books.google.com.ec/books?id=mj9rVESCHCcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=mj9rVESCHCcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Volke, T., & Velasco, A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. September 2016.
- Vrdoijak, G. (2018). *Thiobacillus* (p. 5).
- Wisoczynski, D. S. D., Ferreira De Paula, G., & Matsumoto, L. S. (2021). *Influencia de Bacillus sp. sobre los atributos químicos y microbiológicos del suelo y el desarrollo de la soja y el maíz*. 12, 383–393. <https://www.bioquirama.com/pdf/La-bacteria-Bacillus-subtilis.pdf>
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content

on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), 316–323.  
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003>

Zamora, A., Jesús, R., & Marinela, A. (2017). *Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana*. 12.

## ANEXOS

### Anexo 1. Recopilación fotográfica.



**Figura 36.** Aplicación de CMB en 5 días, desde el inicio de la inoculación.



**Figura 37.** Inoculación de CMB con presencia de la planta baby girasol.



**Figura 38.** Dos semanas antes del proceso final, tratamiento T1.



**Figura 39.** Dos semanas antes del proceso fina, T2



**Figura 40.** Proceso de crecimiento de la planta semana 13, tratamiento T3.

## Anexo 2. Análisis inicial y final de las muestras de suelo de la mecánica automotriz Mejía.

- Análisis físico – químico línea base del suelo.

### DATOS DE IDENTIFICACION

NOMBRE DEL REMITENTE	PAOLA LUMINEZ RAMOS
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	PIR
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	099445479
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	FISICO-MACRO-MICRO MINERALES
SUSTRATO:	SUELO MECANICA CON ACEITES
FASE DE CONTAMINACION	ESTABLECIDO

FECHA DE MUESTREO:	26.04.2022
FECHA DE INGRESO:	26.4.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL-308
FECHA DE INFORME LAB.:	10.05.2022
FACTURA No.:	4483
RUC:	1105808149

# Bionika

LABORATORIOS

BELLAVISTA DE CARRETAS  
PSJE N758 Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0999 697977

E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
WWW.BDKI.DE  
QUITO - ECUADOR

### RESULTADO ANALISIS FISICO MACRO Y MICRO ELEMENTOS DE SUELO

IDENTIFICACION	No.LAB.	Sat 1/2 %	PH	C.E. mSiem/cm	Nitrógeno		Fósforo		Zinc	Cobre	Hierro	Manganes	Potasio		Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	M.Orgánica	Textura	Color
					N	Amonia N	P	P	Zn	Cu	Fe	Mn	K	K	Ca	Mg	S	B	M. O.		
SUELO MECANICA	PSL-308-1	11,0	5,10	0,12	7	4	77	45	0,5	5,5	88,5	8,3	115,3	62,7	698	87	122,8	0,1	1,80	Franco Arenoso	2,5/10G
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	NORMAL		5,5 a 6,5	0,5 a 2,0	15 a 40	25 a 55	10 a 40	10 a 20	3 a 15	1 a 20	10 a 50	5	390 a 780	80 a 160	(0,8a*)1000	121 a 1210	12 a 200	0,2 a 0,7	3 a 6		

IDENTIFICACION	No.LAB.	RELACIONES	Ca/Mg	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Ca/B	Fe/Mn	NO3/NH4 N	Al + H meq/100 g	SODIO ppm	SODIO meq/100 g	Cloruros ppm	Potasio meq/100 g	Calcio meq/100 g	Magnesio meq/100 g	C.I.C.E. meq/100 g
DISTRITO 1 La Suerte LOTE 5	PSL-308-1		4,88		2,34	11,84	14,26	6980	10,66	1,8					0,29	3,49	0,72	4,5
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	OPTIMO		2 a 3		6 a 7,5	12 a 15	20 a 30	(2a5)1000	10 a 20		< 0,8	< 46	< 0,20	15 a 30	0,3 a 1,5	6 a 15	2 a 3,5	12 a 25

pH en agua relación 1 a 2.5  
Fósforo y Potasio, en extracto doble ácido ( Mehlich) y en Agua  
Calcio y Magnesio en extracto mehlich  
Nitrógeno de Nitratos solubles en agua. Método de ácido salicílico

Nitrógeno Amoniacal método de fenol básico  
Microelementos: En extracto mehlich por espectrometría de absorción atómica  
Sat. 1/2 = % de saturación media: Estimado de la capacidad de retención de humedad

C.Eléc. en extracto de saturación  
Azufre, Boro y Sodio solubles en agua  
Materia Orgánica reacción de dicromato.  
C.I.C.E. = Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva

Capacidad de carga biopolimérica (CCB): NULA  
Partición BioColoidal (PBC): NULA  
Biocatalizadores exosféricos (BE): Ausentes  
Biocatalizadores rizosféricos (BR): Ausentes  
Biocatalizadores endosféricos (BE): Ausentes

#### LOCALIZACIÓN CCB, PBC, BE, BR, BE en relación con la explotación del cultivo



Dr. Carlos Falconi Borja Ph.D.  
LABORATORIOS  
BIONIKA-PLS-laboratorios

- Análisis microbiológico de la línea base del suelo inicial.

#### DATOS DE IDENTIFICACION

NOMBRE DEL REMITENTE O REMITENTE:	PAOLA JUMENEZ RAMOS
CODIGO DE CLIENTE:	PIR
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	099445479
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	FISICO-MACRO-MICRO MINERALES
SUSTRATO:	SUELO MECANICA CON ACEITES
FASE DE CONTAMINACION	ESTABLECIDO

FECHA DE MUESTREO:	26,04,2022
FECHA DE INGRESO:	26,4,2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL-308
FECHA DE INFORME LAB.:	10.05.2022
FACTURA No.:	4483
RUC:	1105808149



BELLAVISTA DE CARRETAS  
PSJE N75B Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0999 697977

E-MAIL: PSL@BIOSFTWARE.DE  
W/W: BDKL.DE  
QUITO - ECUADOR

#### RESULTADO ANALISIS BIOGRAMA MICROBIANO BIOCATALITICO SUSTRATO

MICROORGANISMOS	MUESTRA 1 cfu / g sustrato	
<i>Actinomyces</i> sp.	0,6211587	colonias imperceptibles debiles. Flotantes, limitadas al contenido organico del sustrato, su biomasa esta relacionada con la disponibilidad nutricional microbiana
<i>Bacillus subtilis</i>	1,5291585	colonias dispersas, fuertes, invasoras de productos fraccionarios de hidrocarburos y grasas, alta capacidad de produccion metabolica
<i>Fusarium</i> sp.	0,7521478	micelio hialino asociado a micela sterilia, con la cual ejerce una funcion simbiotica de detoxificacion por el uso de productos secundarios
Micelia sterilia Basidio.	0,5214897	matriz microbiana del sustrato y de anclaje microbiano, posee una alta capacidad de colonizacion al medio pero dependiente de complejos organicos
<i>Streptomyces</i> sp.	0,9510897	colonias de color blanco, escasas, dependientes de matrices microbianas principales. Alta capacidad de desarrollo metabolico para la colonizacion del medio donde se desarrollan
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,0987457	bacteria transiente, localizada en restos organicos, desdoblados de pH neutro
<i>Trichoderma</i> spp	0,6521478	colonizador de complejos organicos del medio, aporta con nutrientes a los consortes microbianos del medio, es el enlace del ciclo de remedacion hacia procesos de anclaje de vegetales.
<i>Thiobacillus</i> sp.	2,5012487	ampliamente distribuido por el medio en forma de celulas con una espesa pared celular, alta capacidad metabolica, aporta subproductos de liquefaccion carbonica del sustrato

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Complejos microbianos transientes y residentes de sustratos altamente contaminados, que se consideran como extremofilos
2. El microcosmos analizado describe sucesiones en el proceso metabolico de biorremediacion, de los mas extremos por su biomasa cfu y los sensibles pero ademas importantes pues satelizan procesos de biorremediacion
3. Los componentes microbianos revelan un alto despliegue bioquimico energetico y eficiencia en la colonizacion del sustrato, en el cual es importante el contenido de materia organica, material q es crucial para su desarrollo
4. Mediante el presente analisis se puede deducir estrategias de manejo de la biorremediacion en base a contenidos microbianos, composicion mineral, organica, bioquimica.

- Análisis de hidrocarburos totales y aceite – grasas, de las muestras del suelo de la línea base del suelo.

NOMBRE DEL REMITENTE O REMITENTE:	PAOLA JUMENEZ RAMOS
CODIGO DE CLIENTE:	PJR
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	099445479
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	FISICO-MACRO-MICRO MINERALES
SUSTRATO:	SUELO MECANICA CON ACEITES
FASE DE CONTAMINACION	ESTABLECIDO

FECHA DE MUESTREO:	26.04.2022
FECHA DE INGRESO:	26.4.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL-308
FECHA DE INFORME LAB.:	10.05.2022
FACTURA No.:	4483
RUC:	1105808149



BELLAVISTA DE CARRETAS  
PSJE N75B Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0999 697977

E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
WWW.BDKI.DE  
QUITO - ECUADOR

#### RESULTADOS

RESULTADOS	UNIDADES	
pH	-	5,1
Humedad	%	45
Materia Organica	%	1,8
Conductividad electrica	mS/cm	0,12
Hidrocarburos	TPH ppm	16000
Aceites y Grasas	%	100
densidad	g ml-1	1.8

Dr. Carlos Falconi Borja Ph.D.  
LABORATORIES  
BIONIKA-PLS-laboratories  
psl@biosoftware.de  
www.bdkie.eu

- Análisis físico- químico después de la inoculación de CMB.

NOMBRE DEL REMITENTE	PAOLA JIMENEZ RAMOS
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	PJR
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	099445479
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	FISICO-MACRO-MICRO MINERALES
SUSTRATO:	M1, M2, M3
FASE DE CONTAMINACION	ESTABLECIDO

FECHA DE MUESTREO:	14.07.2022
FECHA DE INGRESO:	21.0.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL325
FECHA DE INFORME LAB.:	10.05.2022
FACTURA No.:	4931
RUC:	



BELLA VISTA DE CARRETAS  
PSJE N758 Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0999 697977

E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
WWW.BDKI.DE  
QUITO - ECUADOR

### RESULTADO ANALISIS FISICO MACRO Y MICRO ELEMENTOS DE SUELO

IDENTIFICACION	No.LAB.	Sat 1/2 %	PH	C.E.	Nitrógeno		Fósforo		Zinc	Cobre	Hierro	Mangane	Potasio		Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	M.Orgáni	Textura	Color	
					Nitratos N	Amonia N	P	P	Zn	Cu	Fe	Mn	K	K	Ca	Mg	S	B	M. O.			
					ppm	ppm	Total	Sol.Agua	ppm	ppm	Total	Sol.Agua	%	Clas 3:3arena 87%								
M1	PSL-325-1	28,0	7,42	1,09	0,22	5	2	82	41	0,45	4,1	91,2	8,3	122,4	55,7	778	71	145,8	0,15	0,99	Franco Arenoso	2,5/10G
M2	PSL-325-2	30,0	8,79	1,03	0,35	9	4	94	38	0,51	5,3	110,4	9,2	178,3	113,27	809	88	187,5	0,18	1,70	Franco Arenoso	2,5/10G
M3	PSL-325-3	30,0	7,99	1,05	0,19	7	4	79	41	0,38	3,3	89,6	7,2	224,3	108,64	628	79	159,56	0,1	1,10	Franco Arenoso	2,5/10G
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS		NORMAL	5.5 a 6.5		0.5 a 2.0	15 a 40	25 a 55	10 a 40	10 a 20	3 a 15	1 a 20	10 a 50	5	390 a 780	80 a 160	10.8a11000	121 a 1210	12 a 200	0.2 a 0.7	3 a 6		

IDENTIFICACION	No.LAB.	ELACIONES	Ca/Mg	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/H	Ca/B	Fe/Mn	NO3/NH4 N	Al + H meq/100 g	SODIO ppm	SODIO meq/100 g	Cloruros ppm	Potasio meq/100 g	Calcio meq/100 g	Magnesio meq/100 g	C.I.C.E. meq/100 g
M1	PSL-325-1		6,66		1,80	12,43	14,29	5187	10,99	2,5					0,31	3,89	0,58	4,8
M2	PSL-325-2		5,59		1,53	8,87	10,46	4494	12,00	2,3					0,46	4,05	0,72	5,2
M3	PSL-325-3		4,83		1,09	5,47	6,61	5233	12,44	1,8					0,57	3,14	0,65	4,4
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS		OPTIMO	2 a 3		6 a 7.5	12 a 15	20 a 30	(2a5)1000	10 a 20		< 0.8	< 46	< 0.20	15 a 30	0.3 a 1.5	6 a 15	2 a 3.5	12 a 25

pH en agua relación 1 a 2.5  
Fósforo y Potasio, en extracto doble ácido ( Mehlich) y en Agua  
Calcio y Magnesio en extracto mehlich  
Nitrógeno de Nitratos solubles en agua. Método de ácido salicílico

Nitrógeno Amoniacal método de fenol básico  
Microelementos: En extracto mehlich por espectrometría de absorción atómica  
Sat. 1/2 = % de saturación media: Estimado de la capacidad de retención de humedad

C.Eléc. en extracto de saturación  
Azufre, Boro y Sodio solubles en agua  
Materia Orgánica reacción de dicromato.  
C.I.C.E. = Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva

Capacidad de carga biopolimérica (CCB): NULA  
Partición BioColoidal (PBC): NULA  
Biocatalizadores exosféricos (BE): Ausentes  
Biotratizadores rinosféricos (BR): Ausentes

LOCALIZACIÓN CCB, PBC, BE, BR, BE en relación con la explotación del cultivo

- Análisis microbiológico después de la inoculación de CMB.

#### DATOS DE IDENTIFICACION

NOMBRE DEL REMITENTE	PAOLA JUMENEZ RAMOS
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	PJR
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	099445479
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	BIOGRAMA MICROBIANO
SUSTRATO:	M1-M2-M3
FASE DE CONTAMINACION	ESTABLECIDO

FECHA DE MUESTREO:	14.07.2022
FECHA DE INGRESO:	21.0.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL325
FECHA DE INFORME LAB.:	10.05.2022
FACTURA No.:	4931
RUC:	



BELLA VISTA DE CARRETAS | E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
 PSJE N75B Y GONZALO CORREA | WWW.BDKI.DE  
 TELF: 3460157 - 0999 697977 | QUITO - ECUADOR

#### RESULTADO ANALISIS BIOGRAMA MICROBIANO BIOCATALITICO SUSTRATO

MICROORGANISMOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	SIGNIFICADO BIOCATALITICO MICROBIANO
<i>Achromobacter sp</i>	1,1058743	0,9774715	1,9285478	bacteria asociada a conglomerados edaficos por medio de sus metabolitos secundarios, son asociaciones consolidadas, fuertes, aceitosas con baja densidad
<i>Actinomyces sp.</i>	0,7845196	0,9854712	0,9858754	colonias blancas, se toman marrones, opacas a medida que maduran, aporta con metabolitos de color hialino, que tiene la capacidad de disolver conglomerados de apariencia aceitosa.
<i>Bacillus subtilis</i>	0,8141371	1,1205148	2,5124789	colonias dispersas, fuertes, invasoras de productos fraccionarios de hidrocarburos y grasas, alta capacidad de produccion metabolica su presencia es mas notoria en nucleos organicos.
<i>Fusarium sp.</i>	0,8954764	0,9532147	1,9851201	micelio blanco, hialino posee clamidosporas terminales o intercalares, con una alta produccion mayormente de conidias uni y tricelulares.
Micelia sterilia Basidio.	1,1845781	1,1454512	0,8542173	matriz microbiana del sustrato y de anclaje microbiano, posee una alta capacidad de colonizacion al medio pero dependiente de complejos organicos
<i>Streptomyces sp.</i>	1,1028957	0,9535879	2,5620147	colonias de color blanco, dependientes de matrices microbianas principales. Alta capacidad de desarrollo metabolico para la colonizacion del medio donde se desarrollan
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,8847513	2,6531478	1,8547898	colonias hialinas cremosas, dispersas. Se las localiza en puentes de anclaje entre sustratos organicos y nucleos de TPH
<i>P. aeruginosa</i>	1,1621743	1,3097807	2,6598786	evidencias asociaciones bacterianas debiles, pero con una alta actividad metabolica, la cual actua como agentes de separacion de sustancias organicas y materia aceitosa
<i>Rhodococcus spp.</i>	2,8521417	0,9541275	1,5478471	levadura con una alta actividad metabolica, actua disgregando particulas de suelo, liberando contenidos atrapados en ella.
<i>Trichoderma spp</i>	1,8641703	1,5976148	2,7985179	colonizador de complejos organicos del medio, aporta con nutrientes a los consortes microbianos del medio, es el enlace del ciclo de remediacion hacia procesos de anclaje de vegetales.
<i>Thiobacillus sp.</i>	1,0215415	1,9865485	3,8954187	ampliamente distribuido por el medio en forma de celulas con una espesa pared celular, alta capacidad metabolica, aporta subproductos de liquefaccion carbonica del sustrato

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Complejos microbianos transientes y residentes de sustratos altamente contaminados, que se consideran como extremofilos
2. El microcosmos analizado describe sucesiones en el proceso metabolico de biorremediacion, de los mas extremos por su biomasa cfu y los sensibles pero ademas importantes pues satelizan procesos de biorremediacion
3. Los componentes microbianos revelan un alto despliegue bioquimico energetico y eficiencia en la colonizacion del sustrato, en el cual es importante el contenido de materia organica, material q es crucial para su desarrollo
4. Mediante el presente analisis se puede deducir estrategias de manejo de la biorremediacion en base a contenidos microbianos, composicion mineral, organica, bioquimica.

- Análisis de hidrocarburos totales - aceites, de las muestras del suelo después de la inoculación de CMB

<b>NOMBRE DEL REMITENTE</b>	<i>PAOLA JUMENEZ RAMOS</i>
<b>O REMITENTE:</b>	
<b>CODIGO DE CLIENTE:</b>	<i>PJR</i>
<b>NOMBRE DE LA PROPIEDAD:</b>	<i>NO DETERMINADO</i>
<b>TELF:</b>	<i>099445479</i>
<b>E-MAIL:</b>	
<b>TIPO DE ANALISIS:</b>	<i>ACEITES-GRASAS-HIDROCARB</i>
<b>SUSTRATO:</b>	<i>SUELO MECANICA CON ACEITES</i>
<b>FASE DE CONTAMINACION</b>	<i>ESTABLECIDO</i>

<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	<i>14.07.2022</i>
<b>FECHA DE INGRESO:</b>	<i>21.0.2022</i>
<b>ORDEN DE TRABAJO No.:</b>	<i>PSL325</i>
<b>FECHA DE INFORME LAB.:</b>	<i>10.05.2022</i>
<b>FACTURA No.:</b>	<i>4931</i>

#### RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	VALORES		
		M1	M2	M3
pH	-	7,42	9,2	8,1
Humedad	%	45	48	51
Materia Organica	%	1,8	2,2	2,5
Conductividad electrica	mS/cm	0,22	0,35	0,19
Hidrocarburos	TPH ppm	5761	6250	3980
Aceites y Grasas	%	36	39	25
densidad	g ml-1	1,09	1,03	1,05

**Bionika**  
LABORATORIOS

BELLAVISTA DE CARRETAS  
PSJE N75B Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0999 697977

E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
WWW.BDKI.DE  
QUITO - ECUADOR

**Anexo 3.** Criterios de remediación del suelo (valores máximos permisibles).

(VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES)

Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
<b>Parámetros orgánicos</b>					
Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetileno	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Paola Janela Jiménez Ramos portador de la cédula de ciudadanía N.º 1105808149. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Efecto de un consorcio microbiano en el suelo obtenido de la Mecánica Automotriz Mejía de la ciudad de Cuenca” de consolidación urbana en las áreas de influencia inmediata del Cantón Chilla” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de enero de 2023

F: .....

Paola Janela Jiménez Ramos

1105808149