



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA
REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR
HIDROCARBURO.**

TRABAJO EXPERIMENTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de:
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA
SALAZAR QUICHIMBO MARÍA ISABEL**

**TUTOR
ING. TOMÁS EDINSON HERNÁNDEZ PAREDES, MSc**

GUAYAQUIL-ECUADOR

2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBURO”. Realizado por la estudiante SALAZAR QUICHIMBO MARÍA ISABEL; con cédula de identidad N°0927227934 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo

Atentamente,

Ing. Tomás Hernández, MSc.

Guayaquil, 11 de abril de 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA REMEDIACION DE SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBURO”. realizado por la estudiante SALAZAR QUICHIMBO MARÍA ISABEL; con cédula de identidad N°0927227934, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Oce. Leila Zambrano Zavala
PRESIDENTE

Blgo. Raúl Arízaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Jussen Facuy Delgado
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 11 de abril del 2025

DEDICATORIA

A las mujeres de mi vida cuyo amor ha sido fundamento sobre el que construí cada paso de este camino. A mi madre, mis hermanas y mi tía por ser la fuerza tranquila que me sostiene aún en mis momentos de duda. A mi padre, que, aunque ya no esté físicamente, siempre lo siento cerca, guiándome con su presencia invisible pero constante.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, mis hermanas, y a mi tía, por ser mi razón y fuerza que me empujó hacia adelante, incluso cuando el camino lo veía incierto. Gracias por ser mi refugio en momentos de desesperanza y por darme, sin pedir nada a cambio, el aliento necesario para no rendirme.

Ustedes, con su amor incondicional y su ejemplo constante, me enseñaron que la verdadera valentía radica en levantarse una vez más, aun cuando parece que ya no queda fuerza.

Gracias a todos aquellos que a su manera me ofrecieron luz cuando la oscuridad me rodeaba y por ayudarme a ver más allá de mis propios límites.



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
"DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ"**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

AUTORIZACIÓN DE AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, MARÍA ISABEL SALAZAR QUICHIMBO, en calidad de autor(a) del proyecto realizado sobre, "EVALUACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR HIDROCABURO" para optar el título de Ingeniería Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

Guayaquil, 11 de abril del 2025

MARÍA ISABEL SALAZAR QUICHIMBO

C.I 0927227934

RESUMEN

Esta investigación se centró en evaluar la eficacia del consorcio microbiano en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos a través de la bioaumentación, llevada a cabo en una gasolinera Terpel situada en Guayacanes, Guayaquil. El objetivo fue identificar alternativas más efectivas, innovadoras y económicas a las técnicas tradicionales para mitigar la contaminación del suelo por hidrocarburos, para ello las muestras de suelo fueron analizadas por el laboratorio ELICROM, el cual empleó métodos internos basados en normas internacionales para el análisis fisicoquímico del suelo, realizado a 22.30 °C y 62.30 %HR. Los resultados mostraron que la muestra contaminada con gasolina tenía una conductividad eléctrica de 166.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un aumento del 90.60% en la materia orgánica, junto con una alta concentración de hidrocarburos totales de petróleo (691.23 mg/kg de TPH), representando un riesgo para la salud humana. Se probaron diferentes tratamientos para reducir la concentración de gasolina en el suelo y se descubrió que *Trichoderma sp*, aplicado en una dosis de 60 ml/kg, ofreció los mejores resultados. Este microorganismo logró una reducción del 95.52% en la concentración de gasolina, equivalente a 99.68mg/kg de TPH, con una disminución de -665.58 en los parámetros fisicoquímicos del suelo. Esto significa que *Trichoderma sp* no solo redujo significativamente la contaminación, sino que también mejoró las propiedades del suelo a niveles similares a los de un suelo no contaminado. Además, mediante la prueba estadística de Tstudent se estimó que los 10 tratamientos cumplen con los criterios de remediación del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Palabras clave: Bioaumentación, criterios de remediación, conductividad eléctrica, hidrocarburos, hidrocarburos totales de petróleo (TPH).

ABSTRACT

This research focused on evaluating the efficacy of a microbial consortium for the remediation of hydrocarbon-contaminated soils through bioaugmentation, conducted at a Terpel gas station located in Guayacanes, Guayaquil. The objective was to identify more effective, innovative, and cost-efficient alternatives to conventional techniques for mitigating hydrocarbon pollution in soils.

Soil samples were analyzed by the ELICROM laboratory using internal methods based on international standards. The analyses were carried out at 22.3 °C and 62.3% relative humidity. Results showed that the gasoline-contaminated sample had an electrical conductivity of 166.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and a 90.60% increase in organic matter, along with a high concentration of total petroleum hydrocarbons (691.23 mg/kg TPH), posing a potential risk to human health. Several treatments were tested to reduce the concentration of gasoline in the soil. Among them, *Trichoderma* sp., applied at a dose of 60 ml/kg, showed the most effective results, achieving a 95.52% reduction in gasoline concentration—equivalent to 99.68 mg/kg TPH—and a 665.58 mg/kg decrease in soil contaminants. These findings indicate that *Trichoderma* sp. not only significantly reduced contamination levels but also improved soil conditions to values comparable to those of uncontaminated soil. Furthermore, statistical analysis using the Student's *t*-test confirmed that all ten treatments met the remediation criteria established in the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment.

Keywords: Bioaugmentation, electrical conductivity, hydrocarbons, remediation criteria, total petroleum hydrocarbons (TPH).

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AUTORIZACIÓN DE AUTORÍA INTELECTUAL	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes del problema.....	1
1.2 Planteamiento y formulación del problema	4
1.2.1. Planteamiento del Problema	4
1.2.2. Formulación del Problema.....	7
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Delimitación de la investigación.....	11
1.5 Objetivo general.....	11
1.6 Objetivos específicos.....	11
1.7 Hipótesis	11
2. Marco teórico.....	12
2.1 Estado del arte	12

2.2 Bases teóricas	15
2.2.1. Biorremediación.....	15
2.2.1.1. Biorremediación en Suelos.....	15
2.2.2. Tipos de Biorremediación	15
2.2.2.1 Degradación Enzimática.....	15
2.2.2.2 Remediación Microbiana.....	16
2.2.2.3 Fitorremediación.....	16
2.2.2.4 Bioestimulación.....	16
2.2.2.5 Bioaumentación.....	16
2.2.3. Ventajas y Desventajas de la Biorremediación	17
2.2.3.1 Ventajas.....	17
2.2.3.2 Desventajas.....	17
2.2.4. Contaminación del Suelo con Hidrocarburos	17
2.2.4.1 Generalidades.....	17
2.2.4.2. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH).....	18
2.2.4.3. Efecto de los Hidrocarburos en los Seres Vivos.....	18
2.2.4.4. Daños a la Fauna y Flora.....	19
2.2.6. Bacterias Biodegradadoras	19
2.2.6.1. Tipos de Bacterias Biodegradadoras:	19
2.2.7. Consorcio Microbiano.....	20
2.2.7.1. Tipos de Consorcios Microbianos.....	20
2.2.8. Cinética de Crecimiento.....	21
2.2.8.1. Curva de Crecimiento.....	22
2.2.9. Diésel	23
2.2.9.1. Composición química del diésel.....	23
2.3 Marco legal.....	24
2.3.1. Constitución de la república del Ecuador (2008)	24
2.3.2. Código orgánico integral penal (2014).....	25
2.3.3. Acuerdo ministerial 028; Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2019)	26
2.3.4. Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas; Registro Oficial 254 de02 de febrero del (2019)	26
2.3.5. Acuerdo ministerial 097; (2015).....	27

2.3.6. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019).	28
3. Materiales y métodos	31
3.1 Enfoque de la investigación.....	31
3.1.1. Tipo de investigación.....	31
3.1.2. Diseño de investigación	31
3.2 Metodología.....	32
3.2.1. Variables.....	32
3.2.1.1. Variable independiente.	32
3.2.1.2. Variable dependiente.	32
3.2.2. Tratamientos	32
3.2.3. Diseño experimental	32
3.2.4. Recolección de datos	33
3.2.4.1. Recursos.	33
3.2.4.2. Métodos y técnicas.....	34
3.2.4.2.1. Obtención del suelo contaminado con diésel.	34
3.2.4.2.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo limpio y el suelo contaminado con diésel.	34
3.2.4.2.3. Bioaumentación del suelo contaminado.....	36
3.2.4.2.4. Determinación de la eficiencia de biodegradación de las muestras de suelo contaminado con diésel mediante cepas de <i>Trichoderma</i> sp. y <i>Bacillus pumilus</i>	37
3.2.4.2.5. Evaluación de la efectividad del tratamiento.....	37
3.2.4.2.6. Proponer que tratamiento es más efectivo para recuperar el suelo degradado por TPH.	37
3.2.5. Análisis estadístico	38
3.2.5.1 Media	38
3.2.5.2 Desviación estándar.....	38
3.2.5.3. Prueba estadística Tukey 5%.	39
3.2.5.4. Prueba estadística de t-student.	39
4. Resultados.....	41

4.1 Examinar las características físico-químicas de suelo limpio y suelo contaminado con hidrocarburos	41
4.2 Evaluar el porcentaje de remoción de TPH generado por el consorcio microbiano mediante análisis de laboratorio	47
4.3 Proponer que tratamiento es más efectivo para recuperar el suelo degradado por TPH	59
5. Discusión.....	63
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	65
6.1 Conclusiones.....	65
6.2 Recomendaciones.....	66
7. Bibliografía.....	67
8. Anexos.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tratamientos mediante dos consorcios microbianos en diferentes dosis.</i>	32
Tabla 2. <i>Métodos empleados por el laboratorio ELICROM en el análisis de las muestras de suelo.</i>	41
Tabla 3. <i>Comparación de las propiedades fisicoquímicas de las muestras de suelo limpio y suelo contaminado con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa.</i>	46
Tabla 4. <i>Eficiencia de biodegradación de hidrocarburos en las muestras de suelo contaminado</i>	47

Tabla 5. <i>Resultados de la prueba de normalidad para cada una de las variables en estudio</i>	48
Tabla 6. <i>Resultado de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para la concentración final de TPH</i>	49
Tabla 7. <i>Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la conductividad eléctrica</i>	50
Tabla 8. <i>Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la materia orgánica</i>	51
Tabla 9. <i>Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la temperatura</i>	51
Tabla 10. <i>Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto al potencial de hidrogeno</i>	52
Tabla 11. <i>Resultados del estadístico Dunn al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la concentración final de TPH</i>	53
Tabla 12. <i>Comparación de la concentración de TPH del suelo contaminado y suelo tratado</i>	58
Tabla 13. <i>Resultados de la prueba t-student unilateral derecha entre la concentración inicial del contaminante y la concentración final</i>	58
Tabla 14. <i>Comparación de la concentración de TPH del suelo remediado con el tratamiento 5 y Límite Máximo Permisible</i>	59
Tabla 15. <i>Resultados de la prueba t-student unilateral derecha entre la concentración final del contaminante y el Límite Máximo Permisible</i>	59
Tabla 16. <i>Propuesta 1 de remediación con Trichoderma sp</i>	60
Tabla 17. <i>Propuesta 2 de remediación con Trichoderma sp</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Conductividad eléctrica en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado</i>	42
Figura 2. <i>Contenido de materia orgánica en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado</i>	43
Figura 3. <i>Representación gráfica de la temperatura en las muestras de suelo</i>	44
Figura 4. <i>Potencial de hidrógeno en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado</i>	44
Figura 5. <i>Hidrocarburos totales de petróleo en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado</i>	45
Figura 6. <i>Comparación de la conductividad eléctrica del suelo tratado y el suelo limpio</i>	54
Figura 7. <i>Comparación de la materia orgánica del suelo tratado y el suelo limpio</i>	55
Figura 8. <i>Comparación de la temperatura del suelo tratado y el suelo limpio</i>	56
Figura 9. <i>Comparación del potencial de hidrogeno del suelo tratado y el suelo limpio</i>	56
Figura 10. <i>Comparación de hidrocarburos totales de petróleo del suelo tratado y el suelo limpio</i>	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 <i>Mapa de Ubicación</i>	78
Anexo N° 2 <i>Tabla de industrias que Generan contaminación de suelos con hidrocarburos</i>	78
Anexo N° 3 <i>Factura emitida por el laboratorio acreditado donde se evaluaron los parámetros físico-químicos del suelo en estudio</i>	79
Anexo N° 4 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Bacillus pumilus a dosis de 5 ml/kg</i>	80
Anexo N° 5 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Bacillus pumilus a dosis de 10 ml/kg</i>	81
Anexo N° 6 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Bacillus pumilus a dosis de 15 ml/kg</i>	81
Anexo N° 7 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Bacillus pumilus a dosis de 20 ml/kg</i>	82
Anexo N° 8 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Bacillus pumilus a dosis de 30 ml/kg</i>	82
Anexo N° 9 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 10 ml/kg</i>	83
Anexo N° 10 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con con Trichoderma sp a dosis de 20 ml/kg</i>	83
Anexo N° 11 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 30 ml/kg</i>	84
Anexo N° 12 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 40 ml/kg</i>	84

Anexo N° 13 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 60 ml/kg</i>	85
Anexo N° 14 <i>Tabla resumen de los parámetros fisicoquímicos de los suelos remediados por los diferentes tratamientos realizados con sus repeticiones</i>	85
Anexo N° 15 <i>Tamizado del suelo</i>	86
Anexo N° 16 <i>Consortios microbianos (Bacillus Pumilus y Trichoderma Sp</i>	86
Anexo N° 17 <i>Colocación de muestras de suelo en envases</i>	87
Anexo N° 18 <i>Recolección de dosis en mg/kg de Bacillus Pumilus</i>	87
Anexo N° 19 <i>Recolección de dosis en mg/kg de thrichoderma sp</i>	88
Anexo N° 20 <i>Colocación de dosis de tratamientos en el rociador</i>	88
Anexo N° 21 <i>Rociando la dosis de tratamiento a cada muestra de suelo</i>	89
Anexo N° 22 <i>Muestras con diferentes dosis de Bacillus Pumilus y thrichoderma sp</i>	89
Anexo N° 23 <i>Determinación del peso de las muestras de suelo en la balanza analítica</i>	90
Anexo N° 24 <i>Incubación de las muestras de suelo con las diferentes dosis de tratamiento</i>	90

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

Un estudio realizado por Rodríguez (2022), indica que la contaminación del suelo por hidrocarburos es definida como los cambios producidos en el suelo debido a la liberación o derrame de los derivados del petróleo, a través de diferentes vías, como derramamientos de petróleo, vertidos de residuos químicos, o incluso a través de la erupción de tuberías de transporte de hidrocarburos. Los hidrocarburos alteran las características fisicoquímicas y biológicas del suelo. Cuando los hidrocarburos cubren la superficie del suelo, interrumpen la interacción electrostática entre la superficie de las partículas del suelo y el agua, reduciendo su capacidad de retención. Esta es una de las principales consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas en el Ecuador (Zabala, Espinoza, Herrera, & Manzano, 2023).

Jiménez (2020) menciona en su estudio la importancia de la industria petrolera en la economía del país y como ésta ha sido impulsada a pesar de los grandes desastres provocados al medio ambiente. Desde 1967 se han explotado las reservas petroleras en el Ecuador las cuales se encuentran en mayor cantidad en la amazonia ecuatoriana. Entre los años 2000 y 2014 se presentaron un total de 539 derrames de petróleo en la región oriental, lo que indica una alta frecuencia de ocurrencia de este tipo de accidentes (EP Petroecuador, 2014).

Desde 1964 la empresa petrolera Texaco perforó y operó más de 300 pozos en la amazonia ecuatoriana. Cesó sus operaciones en 1990 y durante sus operaciones vertió aproximadamente 17 millones de galones de crudo y residuos peligrosos sobre más de 2 millones de hectáreas de suelo perjudicando a las comunidades indígenas de la zona, esto representa uno de los mayores desastres ambientales en el Ecuador (Jimenez, 2020). Oficialmente 952 casos de derrames petroleros, de un total de 1 169, se reportaron en la región amazónica entre 2005 y 2015. Durante este periodo de tiempo se derramaron aproximadamente 4 000 galones por día de los cuales sólo se ha podido limpiar una tercera parte. A Texaco se le atribuyen aproximadamente 1 211 sitios contaminados en el oriente ecuatoriano (Amazon Frontlines, 2019).

Comunidades amazónicas han reportado la ausencia de vida acuática en cuerpos de agua en donde antes proliferaba la presencia de peces y vida silvestre.

Adicional a ello, viven con los constantes decesos de ganado por envenenamiento y la necesidad de movilizarse a ríos lejanos en busca de agua consumible. Consumir el agua cercana a ellos contaminada por hidrocarburos tiene efectos negativos en la salud, aparición de erupciones en la piel, quemaduras, dolor al bañarse, malformaciones en fetos y abortos espontáneos (Rosero, 2022).

Por otra parte, un estudio realizado en Huancavelica, Perú, por Vergara (2023) reveló que la fracción de hidrocarburos F1 (ligeros) superó los estándares para suelos de uso comercial en talleres automotrices de Santa Ana y Yananaco. Esta contaminación, no solo altera la composición del suelo, sino que también amenaza la salud pública y la productividad agrícola local. La remediación mediante consorcios microbianos es una técnica económica y ambientalmente viable que utiliza microorganismos, para biodegradar contaminantes del petróleo y derivados que están presentes en suelo (Rodríguez M. , 2022).

Jiménez (2020) calculó el porcentaje de degradación de hidrocarburos mediante bacterias y hongos a partir de cinco estudios previos, considerando las concentraciones inicial y final. Los resultados mostraron que el hongo *Pleurotus ostreatus* alcanzó un 98% de degradación en dos meses. En comparación, *Exiguobacterium profundum* logró un 88% y el consorcio microbiano de *Bacillus* y *Pseudomonas* alcanzó un 95%. Esto concluye que los hongos son más efectivos en la degradación de hidrocarburos a altas concentraciones, siendo eficientes en la remediación de suelos contaminados.

Un estudio realizado en la ciudad de Quito por Cruz y Licango (2021) se evaluó la capacidad de eliminación de TPH utilizando un sistema de biopilas con *Trichoderma sp* y *Bacillus pumilus*. Los resultados indicaron que, para una concentración de 10,000 ppm, *Trichoderma sp*. logró un 65.15% de remoción, mientras que *Bacillus pumilus* alcanzó un 50.68%. En una concentración de 40,000 ppm, los porcentajes de remoción fueron de 18.63% para *Trichoderma sp* y 18.67% para *Bacillus pumilus*. El tratamiento más efectivo fue *Trichoderma sp* a una concentración de 10,000 ppm, con el mayor porcentaje de remoción.

Un estudio realizado en Cuba, por Barbosa (2020), se enfocó en el aislamiento y selección de bacterias aerobias degradadoras de hidrocarburos del petróleo, aisladas de costas de Cuba. Se obtuvieron 33 cepas bacterianas que fueron sometidas a un proceso de selección en medio Bushnell-Haas suplementado

con crudo pesado, seleccionando tres cepas por su capacidad de degradar los hidrocarburos en siete días. Estas cepas removieron más del 60% de los Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), con una de ellas mostrando valores de remoción superiores al 65% en todas las fracciones, excepto en las resinas. Los análisis identificaron fenotípicamente dos cepas como del género *Bacillus*, y otra como del género *Alcaligenes*, las potencialidades biodegradadoras de estas cepas han generado nuevos estudios.

Un estudio que compara los diferentes métodos de remediación, realizado por Franzetti (2022), revela que técnicas como la biodegradación natural, bioestimulación y bioaumentación presentan distintas eficiencias y aplicaciones. La biodegradación natural depende de la actividad microbiana existente en el suelo, mientras que la bioestimulación implica la adición de nutrientes o compuestos que favorecen el crecimiento de microorganismos degradadores. Por otro lado, la bioaumentación introduce cepas específicas de microorganismos con capacidad para degradar hidrocarburos, lo que puede acelerar el proceso de remediación. Un estudio reciente indica que la combinación de estas técnicas puede ser más efectiva, logrando reducciones significativas en los niveles de contaminantes. Por ejemplo, se reportó una disminución del 93.6% en hidrocarburos totales después de aplicar un sistema combinado de electro-Fenton y procesos biológicos en suelos contaminados (Franzetti, 2022). Esto sugiere que la elección del método debe basarse en las características específicas del sitio contaminado y los tipos de hidrocarburos presentes.

Por su parte García (2021), menciona que los biorreactores y bioensayos de laboratorio son esenciales para evaluar la capacidad de los microorganismos en la degradación de hidrocarburos, ya que permiten crear condiciones controladas que optimizan el proceso de biorremediación. Estos sistemas facilitan el monitoreo de factores clave que influyen en la actividad microbiana, como el pH, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. Un pH adecuado es crucial para la viabilidad microbiana, mientras que temperaturas extremas pueden inhibir su funcionamiento. Además, la cantidad de nutrientes, como carbono y nitrógeno, es vital para el crecimiento y la eficacia en la degradación de contaminantes. La presencia de metales pesados puede también limitar esta actividad, ya que estos elementos pueden ser tóxicos para los microorganismos. En resumen, el uso de biorreactores

y bioensayos proporciona información valiosa sobre las condiciones óptimas para maximizar la biodegradación de hidrocarburos y evaluar el potencial de diferentes cepas microbianas.

El conocimiento sobre consorcios microbianos es clave para aumentar la eficiencia en los procesos de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, ya que la interacción entre diferentes microorganismos puede mejorar la degradación de compuestos tóxicos. Sin embargo, hay una falta de estudios aplicados a contextos específicos que evalúen el comportamiento de estos consorcios en diversas condiciones ambientales. Esta carencia resalta la necesidad de enfoques innovadores que integren conocimientos microbiológicos con prácticas de remediación adaptadas a características locales. La presente investigación busca explorar y optimizar el uso de consorcios microbianos en entornos específicos, contribuyendo al desarrollo de estrategias más efectivas y sostenibles para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

Se estima que existen aproximadamente 2.5 millones de zonas contaminadas en Europa por derrames de petróleo. Esto evidencia la magnitud del problema, la contaminación del suelo por hidrocarburos representa un desafío global (Álvarez, 2023).

Un informe de la Comisión Europea (2024) señala la existencia de 2.8 millones de sitios contaminados sin recuperar debido a la capacidad de persistencia en el ambiente de los hidrocarburos, estos pueden permanecer durante décadas en el suelo disminuyendo su capacidad de retener agua. Resulta importante abordar esta problemática debido a que la exposición a estos contaminantes se relaciona con problemas de salud como problemas respiratorio y cáncer (Castillo E. , 2022).

Como consecuencia de la extracción y transporte intensivo de petróleo en América Latina la contaminación del suelo por hidrocarburos es una de las principales causas de su degradación. En los países latinoamericanos con mayores reservas como Brasil, México y Colombia se concentran la mayor cantidad de problemas relacionados a la contaminación del suelo por hidrocarburos, cerca del 81% de casos. Las políticas implementadas para esta problemática resultan

deficientes e inexistentes intensificando los daños ambientales y sociales de las comunidades cercanas (Chávez, 2024).

La fertilidad y capacidad para sostener vida del suelo se ve afectada negativamente como consecuencia de la presencia de hidrocarburos, estos producen cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo. Este contaminante se caracteriza por su baja solubilidad e hidrofobia lo que dificulta su degradación natural y pone en riesgo los ecosistemas que dependen del agua potable. En Europa la contaminación por hidrocarburos figura como la tercera causa principal de degradación del suelo mientras que en América del Norte y Asia ocupa el octavo lugar (FAO, 2019).

La biodiversidad existente en el suelo se ve afectada por los hidrocarburos al modificar hábitats naturales y disminuir la diversidad microbiana esencial para los procesos químicos y biológicos en él. Investigaciones a nivel mundial dictan que cerca del 60% de la actividad microbiana en el suelo se reduce a causa de la contaminación por hidrocarburos, estos descomponen la materia orgánica afectando directamente a la fertilidad de este. A pesar de lo ya mencionado no existen estrategias eficaces para remediar suelos contaminados (García M., 2021).

León (2024), en Perú, la contaminación del suelo por hidrocarburos es un problema crítico, especialmente en Loreto y Piura, donde se concentra la actividad petrolera. Entre 1997 y 2023, se registraron 1462 emergencias por derrames de petróleo, afectando suelos y aguas, con Loreto y Piura acumulando el 87% de estos incidentes (707 en Loreto y 566 en Piura). La corrosión de ductos y fallas operativas son responsables del 73% de los derrames. En la actualidad existen 3256 pasivos de hidrocarburos en el país, con 167 considerados de alto riesgo. En el distrito de Imaza, Amazonas, se encontraron concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) por debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas, pero su persistencia sigue siendo preocupante. A pesar de la magnitud del problema y los 3225 casos de afectación petrolera registrados en el norte del país, existe una notable falta de estrategias eficientes de remediación, lo que agrava los daños ambientales y sociales en las comunidades afectadas.

La contaminación del suelo por hidrocarburos tiene un impacto significativo en las comunidades amazónicas, especialmente en las provincias de Orellana y Sucumbíos. Entre 2006 y 2022, se registraron 4603 incidentes de contaminación,

con el 94% de ellos ocurriendo en estas dos provincias. De estos, 1477 fueron derrames causados por fallas operativas o factores naturales a lo largo del Sistema Oleoducto Transecuatoriano (SOTE). Además, se reportaron 1043 casos relacionados con fosas y 2083 con piscinas de desechos químicos. Texaco es responsable de 608 pasivos ambientales en Orellana y 499 en Sucumbíos. Las comunidades indígenas y campesinas son las más afectadas, enfrentando problemas de salud debido a la contaminación del agua y los alimentos, así como la pérdida de biodiversidad y deterioro de los suelos agrícolas vitales para su subsistencia. Los derrames han contaminado ríos y tierras, afectando directamente las fuentes de agua potable y los cultivos, lo que resulta en problemas de salud como enfermedades cutáneas, respiratorias y digestivas, además de perjudicar las actividades pesqueras y agrícolas que son fundamentales para la economía local. A pesar de que más del 80% de las fosas han sido remediadas, alrededor del 75% de los derrames y piscinas aún requieren atención (Prieto, 2024).

En la Provincia de Orellana, cantón Joya de los Sachas ha sido severamente afectado por actividades petroleras, siendo las principales fuentes de contaminación, los derrames de petróleo crudo, el almacenamiento inadecuado de residuos industriales y los accidentes en el transporte de hidrocarburos. Los derrames ocasionados por fallas en oleoductos han resultado en la contaminación de extensas áreas de suelo, afectando aproximadamente 15,300 m² de vegetación y 12,000 m² de riberas. Además de una fisura de 60 cm en una línea de oleoducto causó la dispersión de crudo que contaminó el entorno y resultó en la recolección de 900 barriles de crudo del río (Zabala, Espinoza, Herrera, & Manzano, 2023).

La investigación propuesta se presenta como un aporte crucial para fundamentar la toma de decisiones en la gestión ambiental. Ante la problemática generalizada de suelos contaminados por hidrocarburos, se evidencia la necesidad de generar conocimiento científico sólido que permita evaluar y seleccionar estrategias de remediación más eficientes y adaptadas a condiciones específicas. Esta investigación busca abordar esa carencia, proporcionando datos objetivos y análisis detallados sobre el potencial de la biorremediación como alternativa viable y sostenible.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados exclusivamente por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H), cuya estructura molecular determina tanto

su comportamiento químico como su impacto ambiental. Los átomos de carbono, con cuatro electrones en su capa externa, forman enlaces covalentes con otros átomos de carbono e hidrógeno, lo que les permite crear cadenas lineales, ramificadas o cíclicas. Según el tipo de enlace entre los carbonos, los hidrocarburos se clasifican en alcanos (enlaces simples, fórmula general C_nH_{2n+2}), alquenos (enlaces dobles, C_nH_{2n}) y alquinos (enlaces triples, C_nH_{2n-2}) (Rodríguez, Zárate, & Bastida, 2022).

La composición química de los hidrocarburos influye directamente en su persistencia en el medio ambiente. Por ejemplo, los hidrocarburos aromáticos, como el benceno y el tolueno, poseen estructuras cíclicas altamente estables que dificultan su biodegradación. Este comportamiento se debe a la hidrofobicidad y baja solubilidad de estos compuestos, lo que les permite adsorberse en partículas del suelo y permanecer en el ambiente durante décadas. Su acumulación afecta la calidad del suelo al alterar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, reduciendo la actividad microbiana esencial para la descomposición de materia orgánica (Acuña, 2023).

En cuanto a los métodos de remediación, tecnologías como la bioestimulación y la bioaugmentación han mostrado eficiencias variables dependiendo del tipo de hidrocarburo y las condiciones del suelo. Por ejemplo, un estudio reciente reportó que la bioestimulación puede aumentar hasta un 70% la tasa de degradación de hidrocarburos alifáticos en suelos contaminados, mientras que los aromáticos presentan una resistencia mayor debido a su complejidad estructural. Esto resalta la necesidad de desarrollar estrategias biotecnológicas avanzadas, como el uso de consorcios microbianos especializados o microorganismos genéticamente modificados, para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos de remediación (Vizúete, 2020).

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la eficiencia de los consorcios microbianos en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos con diferentes dosis?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica en la magnitud del problema que representa la contaminación del suelo por hidrocarburos a nivel global. Esta

problemática ambiental crítica, resultante de actividades industriales, derrames de petróleo y prácticas inadecuadas de manejo de residuos, tiene efectos perjudiciales en la calidad del suelo, el agua subterránea y los ecosistemas. A nivel mundial, se estima que existen 2.5 millones de lugares potencialmente contaminados en Europa debido a actividades industriales y derrames de petróleo.

En el contexto de Guayaquil, la contaminación por hidrocarburos, como la presente en la gasolinera de servicio Terpel ubicada en Guayacanes, en la Avenida Isidro Ayora Cueva, representa una amenaza directa para la salud del suelo. Los derrames de hidrocarburos afectan la funcionalidad del ecosistema y están relacionados con diversas actividades antrópicas, como la exploración, extracción, transporte y refinamiento de hidrocarburos. Estas actividades son las principales fuentes de contaminación del suelo en la región.

La ciudad ha sido impactada por derrames de petróleo y desechos industriales, especialmente en áreas cercanas al Puerto Marítimo de Guayaquil. Estudios han documentado que las embarcaciones que operan en el puerto han contribuido a la contaminación del Estero Salado y otras áreas circundantes debido a la descarga de aguas de sentinas y otros residuos. Entre 1998 y 2004, se registraron 55 casos de derrames de hidrocarburos en esta zona, lo que evidencia la gravedad del problema y su impacto local (Pandey, 2023).

Estudios han demostrado que la presencia de hidrocarburos en el suelo altera sus propiedades fisicoquímicas, disminuyendo el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Además, esta contaminación puede impedir el intercambio gaseoso del suelo con la atmósfera, afectando directamente su fertilidad y capacidad para sustentar la vida. La persistencia de hidrocarburos en suelos contaminados reduce la fertilidad lo que desemboca en cosechas poco productivas y potencialmente perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas (Fitoria & Quiroz, 2021).

Dada la persistencia de estos compuestos en el ambiente, debido a su baja solubilidad e hidrofobicidad, y su potencial para causar daños a largo plazo, se justifica la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de remediación eficientes y sostenibles. La exposición a hidrocarburos puede provocar efectos tóxicos en el sistema respiratorio, nervioso y endocrino. Comunidades indígenas, agrícolas y urbanas cercanas a fuentes de contaminación sufren afectaciones por

la degradación del suelo y el agua. Los hidrocarburos reducen la fertilidad del suelo, alteran la biodiversidad microbiana y contaminan los cuerpos de agua cercanos (Bastidas, 2022).

La presente investigación se conecta directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En particular, se vincula con el ODS 6, que busca garantizar el acceso al agua limpia y el saneamiento, ya que la remediación del suelo contaminado contribuye a proteger las fuentes de agua y mejorar la calidad del entorno. Asimismo, se relaciona con el ODS 13, que promueve la acción climática, dado que la contaminación por hidrocarburos es un factor que contribuye al cambio climático y a la degradación ambiental. Por último, el ODS 15, que se centra en la vida en la tierra, se ve reflejado en esta investigación al buscar restaurar los ecosistemas afectados por la contaminación, promoviendo la biodiversidad y los procesos ecológicos saludables.

En cuanto a las políticas nacionales e internacionales, esta investigación está alineada con la normativa ecuatoriana sobre suelos contaminados, que establece criterios para la prevención y control de la contaminación ambiental. La Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (Jaramillo & Gálvez, 2009) y las normas técnicas relacionadas proporcionan un marco regulatorio que respalda la necesidad de remediar suelos contaminados. Además, Ecuador es parte de acuerdos internacionales que buscan proteger el medio ambiente y promover prácticas sostenibles, lo que refuerza la relevancia de esta investigación en el contexto global.

La necesidad de monitoreo y tratamiento de suelos contaminados es fundamental para mitigar los impactos negativos en el medio ambiente y restaurar la funcionalidad del ecosistema. La remediación no solo ayuda a eliminar contaminantes peligrosos como los hidrocarburos, sino que también promueve la recuperación de las propiedades del suelo, esenciales para sustentar la vida vegetal y animal. En este sentido, el uso de consorcios microbianos para mejorar los procesos de biorremediación se convierte en una estrategia clave para abordar esta problemática en Guayaquil. La implementación de un monitoreo adecuado permitirá evaluar la efectividad de las técnicas utilizadas y garantizar que se logren los objetivos de restauración ambiental establecidos.

Los resultados obtenidos serán fundamentales para la gestión ambiental en Guayaquil y permitirán diseñar estrategias de remediación específicas, adaptadas a las características particulares de los suelos contaminados en la gasolinera Terpel y otras áreas afectadas. Al identificar las especies microbianas más efectivas y las condiciones óptimas para su actividad, se podrán implementar protocolos de biorremediación que maximicen la degradación de hidrocarburos, minimizando así el impacto ambiental y acelerando la recuperación del ecosistema. Esta información no solo beneficiará a la comunidad local, sino que también servirá como referencia para futuras investigaciones y proyectos de remediación en contextos similares.

La biorremediación utilizando microorganismos se presenta como una alternativa sostenible y rentable frente a las técnicas convencionales de remediación, como la excavación y el confinamiento de suelos contaminados. Este enfoque no solo reduce significativamente los costos asociados con la remoción física de los contaminantes, sino que también promueve un proceso natural mediante el cual los microorganismos degradan los hidrocarburos en compuestos menos tóxicos. Al aplicar consorcios microbianos específicos, se puede aumentar la eficiencia del proceso biótico, permitiendo una recuperación más rápida y efectiva del suelo contaminado. Este método ecológico minimiza el uso de productos químicos sintéticos y reduce la huella ambiental del proceso de remediación, alineándose con los principios del desarrollo sostenible.

Los resultados obtenidos a partir de esta investigación no solo contribuirán al conocimiento científico sobre la remediación de suelos contaminados, sino que también servirán como base para el establecimiento de regulaciones y mejores prácticas en políticas ambientales. Al proporcionar evidencia empírica sobre la efectividad de los consorcios microbianos en la degradación de hidrocarburos, se podrán formular recomendaciones concretas para las autoridades ambientales en Ecuador. Esto incluye el desarrollo de normativas que fomenten el uso de técnicas biotecnológicas en lugar de métodos tradicionales, promoviendo así una gestión más eficiente y responsable de los recursos naturales. La información generada puede influir en la creación de políticas que prioricen estrategias sostenibles para abordar la contaminación del suelo, garantizando un enfoque más integral hacia la protección del medio ambiente y el bienestar comunitario.

1.4 Delimitación de la investigación

La presente investigación radicó en la evaluación de consorcio microbiano en la remediación de suelo contaminado con hidrocarburo, mediante bioaumentación para la recuperación de suelo degradado.

- **Espacio:** Ciudad de Guayaquil, gasolinera de servicio Terpel, ubicado en Guayacanes en la Avenida Isidro Ayora Cueva.
- **Tiempo:** 7 meses
- **Población:** Parroquia Tarqui en total de acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022) la parroquia cuenta con 749.392 habitantes.

1.5 Objetivo general

Evaluar la eficiencia de dos consorcios microbianos en la remediación de suelo contaminado por TPH mediante bioaumentación para la recuperación de suelo degradado.

1.6 Objetivos específicos

- Examinar las características físico-químicas de suelo limpio y suelo contaminado por hidrocarburos.
- Evaluar el porcentaje de remoción de TPH generado por el consorcio microbiano mediante análisis de laboratorio.
- Proponer que tratamiento es más efectivo para la recuperación del suelo degradado por TPH.

1.7 Hipótesis

La eficiencia de los consorcios microbianos utilizada para la remediación de suelo contaminado con diésel puede disminuir hasta un 60% la concentración de TPH mediante bioaumentación.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

En un estudio realizado por Márquez (2024), se evaluó la eficacia de un consorcio microbiano aislado y se encontraron diferentes especies como *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Arthrobacter* de un suelo contaminado con diésel en la remediación de suelos contaminados con diferentes concentraciones de diésel, y los resultados mostraron que el consorcio microbiano fue capaz de degradar hasta el 96% de los hidrocarburos presentes en el suelo se utilizó una dosis de 5% de inóculo.

Rachida (2023), se evaluaron la eficacia de un consorcio microbiano en un biorreactor de lecho fluidizado, las dosis del consorcio fueron de (2%,4% y 6% de la masa de suelo seco) el resultado obtenido en la investigación mostro que el consorcio microbiano fue capaz de degradar hasta el 97% de los hidrocarburos presentes en el suelo contaminado.

En estos estudios, se utilizaron diferentes consorcios microbianos y dosis para la bioaumentación de suelos contaminados por hidrocarburos, y en todos los casos se logró una efectiva remoción de contaminantes.

En una investigación realizada por Naranjo (2022) se determinó que algunos de los microorganismos usualmente encontrados en tanques de combustible de aviones corresponden a bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*. En lo que respecta a los hongos, frecuentemente se obtienen a los géneros *Penicillium*, *Cephalosporium* y en específico, *Hormoconis resiniae* y *Aspergillus fumigatus*. Durante el recuento se constató que después de 14 días de incubación, *Cladosporium resiniae* presentó la tasa de degradación más alta con un porcentaje de pérdida de peso de 66 seguido de *Candida albicans* (60.6), mientras que *Penicillium citrinum* fue el menos degradador con una pérdida de peso de 41.6%.

En un estudio hecho en México se evaluó el potencial de un consorcio microbiano combinado por bacterias (*Pseudomonas* sp. y *Serratia marcescens* y hongos (*Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp.) agrupados al suelo en la biorremediación. En el proceso de degradación de lodos petroquímicos, la población bacteriana quedó conformada por *Pseudomonas* y *Alcaligenes* con un recuento de bacterias totales de dosis 0 L/m² de suelo y estuvo por encima de los 2 x 10⁵ UFC/g de suelo; y con hongos del género *Aspergillus* y *Trichoderma*

existente en el suelo, logrando a los 158 días una tolerancia del 47% en el suelo con dosis de 50000 mg/kg de hidrocarburo (Cavada, 2022).

Marín (2024) aisló cultivos bacterianos de suelos contaminados con derivados de hidrocarburos de alrededor de 20 cm de profundidad, evaluar la conducta bioquímica, revelan una identificación precedente con bacilos pequeños aerobios gram negativo, con un crecimiento a temperatura de 42 °C correspondiente 24 al género *Pseudomonas* sp., el cual corroboró su capacidad de adaptación en ambientes contaminados de este tipo, incluso mediante la biodegradación.

Díaz (2022) aluden que el análisis de las muestras con combustible Jet Fuel A1 aprovechando la microbiología clásica accedió a comprobar la presencia de microorganismos aerobios mesófilos, el cual con agar cetrimida se nota la ausencia (no hubo color verdoso) de *Pseudomonas aeruginosa*. Se evidencia la presencia de *Hormoconis resiniae* proporcionada por las fuentes de carbono y energía, asistiendo la proliferación de este tipo de organismo.

García (2024) indica la caracterización fenotípica de hongos, determinó que los hongos seleccionados tenían colonias de rosado, verde claro y verde oscuro. Los de mayor crecimiento, en todos los casos, fueron los de color rosado y verde claro. Los resultados obtenidos indican, aunque los hongos aislados corresponden al género *Penicillium* son degradadoras de hidrocarburos, en laboratorio se observaron hongos de géneros *Acremonium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium* y *Trichoderma*, sometidos a ensayos de crecimiento en placas, se seleccionó un suelo contaminado con HPA, las tasas de degradación en 60 días de incubación resultaron 23.6% pireno, 10.6% fluoranteno y 5.0% antraceno. Estos resultados asientan a la cepa U2010-27A como un hongo con potencial para biorremediar suelos contaminados con HPA.

Hoyos (2023), analizaron que el comportamiento de la flora microbiana aislada de un suelo contaminado con hidrocarburo, donde se aislaron bacterias del género *Bacillus* alcanzaron un recuento de 10.4×10^5 UFC/g y 10.18×10^5 UFC/g en tres dosis de inoculantes sobre un suelo arcilloso-limoso contaminado con hidrocarburo en tres concentraciones (50000 ppm, 70000 ppm, 90000 ppm) el cual presentó una 25 degradación a los 90 días con el 70.99%, 75.58% y 67.56% con población bacteriana de 3.506×10^3 , 4.100×10^3 y 3.867×10^3 UFC/g de suelo respectivamente.

Peña (2019) mencionan que los tipos cepas bacterianas predominantes, comprenden aproximadamente el 37% de los cultivos aislados, se identificaron como *Bacillus* spp. Los cultivos restantes se distribuyeron entre 11 géneros, cada uno de los cuales simbolizó del 2 al 9% del total de aislamientos. Cuatro culturas no consiguieron asignarse a un género sobre la base de los criterios diagnósticos utilizados. Solo cinco aislamientos, en los géneros *Pseudomonas* y *Hormodendrum* (*Cladosporium*), crecieron abundantemente en una solución de sales minerales con el combustible como la única fuente de carbono. En el 2012 se realizó un estudio en Pakistán sobre la degradación de suelos contaminados con petróleo con un consorcio mixto de 15 bacterias aisladas por técnica de enriquecimiento donde se comprobó la eficiencia de degradación de petróleo crudo con 2% y 100 ml de medio mineral. El inóculo (10%v/v) células de cultivo de enriquecimiento, subcultivadas en caldo mineral. Los cultivos de aceites se incubaron durante 3 semanas a 37 °C con agitación de 130 rpm en un agitador rotatorio en una incubadora. El crecimiento se controló mediante el ensayo de densidad óptica (DO), con esta técnica la eliminación total de alifáticos y aromáticos fue de un 94% y los polis aromáticos fue de un 46%.

En un estudio realizado en el 2019, en Grecia, se hizo un aislamiento de microorganismos proveniente de tanques de combustible de aviones, se encontraron: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Bacilo* sp. En general el resultado de estos estudios sugiere que el uso de consorcios microbianos es una estrategia efectiva para la remediación de suelos contaminados con diésel, con porcentajes de remoción que oscilan entre el 75% y el 97%. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficacia de los consorcios microbianos puede variar dependiendo de las condiciones específicas del suelo y de los microorganismos utilizados, y que se requiere seguir investigando para mejorar la eficacia de esta técnica de remediación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Biorremediación

La biorremediación utiliza microorganismos que habitan en el suelo y subsuelo para regenerar de manera práctica suelos contaminados (Mantilla, 2021).

En este sentido, los organismos vivos que son utilizados en procesos de descontaminación pueden tener un origen biológico o pueden ser creados en laboratorio utilizando técnicas para obtener características específicas. Hay que recordar que el suelo y el subsuelo están contruidos por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y microorganismos (López, 2020).

Según Ojeada (2023), los procesos de biorremediación involucran reacciones de oxidación- reducción donde los contaminantes reducidos se oxidan y los contaminantes oxidados se reducen.

2.2.1.1. Biorremediación en Suelos.

El incremento en compuestos tóxicos como (metales pesados, pesticidas, TPH, etc) en suelos afecta a la salud humana y la provisión de servicios ecosistémicos, que pueden reducir la seguridad alimentaria, haciendo una disminución del rendimiento agrícola y generando cultivos inseguros para su consumo (Flores, 2024).

Las tres principales vías para la contaminación difusa del suelo son la deposición atmosférica, agricultura e inundaciones (Silva y Correa, 2009). La remediación de suelos contaminados es esencial, sin embargo, los métodos de remediación física, como la inactivación química o el suministro de vertederos, son cada vez más costosos y están siendo reemplazados por métodos biológicos basados en la ciencia, como la degradación microbiana o la fitorremediación (Morales G. , 2020).

2.2.2. Tipos de Biorremediación

Existen 3 tipos de biorremediación:

2.2.2.1 Degradación Enzimática.

Consiste en la descontaminación a través del uso de enzimas producidas en cantidades industriales que se encargan de degradar los componentes que son tóxicos (Parillo, 2024).

2.2.2.2 Remediación Microbiana.

Es un tipo de biorremediación que trabaja con bacterias u hongos autóctonos o inoculados que tienen la capacidad de transformar compuestos tóxicos en sustancias que son muy pequeñas. Esto no elimina el factor contaminante, pero sí ayuda a bajar sus niveles de toxicidad (Cavazos, 2019).

2.2.2.3 Fitorremediación.

En la comunidad científica se ha aumentado el interés por querer crear diferentes tecnologías limpias y seguras de bajo costo y poco impacto ambiental (Cavazos, 2019).

2.2.2.4 Bioestimulación.

La bioestimulación implica la identificación y el ajuste de factores, como elementos nutricionales al suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos y mejorar así la degradación de contaminantes orgánicos, preferiblemente hasta su conversión a productos inocuos (Licango, 2021).

La bioestimulación puede acompañarse con el manejo de aceptores de electrones, el contenido de humedad y puede aplicarse junto con la bioaumentación (Cavazos, 2019). La decisión de implementar uno o las dos técnicas de biorremediación, depende de la capacidad para degradar de la población microbiana, y de la extensión del sitio contaminado. Numerosos estudios han demostrado que la adición de nutrientes y el mejoramiento de las condiciones ambientales, aumentan los porcentajes de remoción de hidrocarburos (Licango, 2021). Zabala (2023) obtuvieron un 96% de remoción de hidrocarburos del petróleo, después de la adición de biosólidos. Arteaga (2021) presentaron resultados similares, al utilizar como bioestimulador un fertilizante comercial, en la degradación de hidrocarburos en la costa de la Antártida. A su vez, algunos autores reportan el uso de nutrientes orgánicos para la estimulación de suelos contaminados.

2.2.2.5 Bioaumentación.

La bioaumentación agrega cepas o consorcios de microorganismos capaces de degradar el contaminante problema para favorecer su biodegradación o biotransformación (Acosta, 2015). Esta tecnología es utilizada cuando se desea reducir el tiempo de tratamiento de un sitio contaminado o cuando la población

nativa es insuficiente en número o en capacidad para degradar los contaminantes involucrados (Aldrete, 2019). Muchos microorganismos poseen la capacidad de utilizar diferentes contaminantes como fuente de carbono y se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza; estos se encuentran en bajas concentraciones, en áreas no contaminadas y se incrementan en ambientes sometidos a impactos crónicos del contaminante (Loxano, 2022).

Las bacterias y los hongos son los principales contribuyentes en la mineralización del petróleo en el suelo; en el caso de las bacterias, ha sido el grupo de microorganismos más estudiado en los procesos de biorremediación, debido a que son fáciles de cultivar, son capaces de metabolizar y utilizar como fuente de energía compuestos clarificados altamente recalcitrantes (Arteaga, 2021).

2.2.3. Ventajas y Desventajas de la Biorremediación

2.2.3.1 Ventajas.

- Resulta más económico en comparación a otros tratamientos fisicoquímicos.
- Se trata de técnicas más sencillas
- Es una tecnología muy poco invasiva, lo cual no genera tantos desechos y en consecuencia es amigable para el ambiente
- Demanda de muy poca energía
- Puede ser utilizada como complemento de otras técnicas (Aldrete, 2019).

2.2.3.2 Desventajas.

- A diferencia de otros tratamientos, en la biorremediación se requieren periodos de tiempo más largos para lograr resultados esperados
- Es difícil predecir el completo funcionamiento del tratamiento.
- No suelen alcanzar a eliminar por completo los contaminantes, siempre queda una mínima fracción en el ambiente (Aldrete, 2019).

2.2.4. Contaminación del Suelo con Hidrocarburos

2.2.4.1 Generalidades.

Debido a procesos biológicos y físicos los hidrocarburos contaminantes de lagos, suelos, ríos y playas terminarán en mares y océanos. La contaminación por hidrocarburos representa un problema mundial y de gran extensión geográfica. Actualmente existe un incremento en las investigaciones e interés en la

contaminación de suelos con hidrocarburos, especialmente de las instituciones ambientales debido a las consecuencias que podría generar esta problemática en la salud humana de poblaciones cercanas y en el entorno natural. Si las características físicas, químicas y biológicas naturales de un suelo se han alterado y representan un riesgo para la salud y el ambiente, este se considera un suelo contaminado (Aldrete, 2019).

Un suelo contaminado por hidrocarburos es una mezcla que puede separarse por la dinámica natural, los compuestos orgánicos volátiles se evaporan o se solubilizan o son absorbidos por el componente sólido del suelo (Rivera, 2019). Debido a las transformaciones mencionadas los hidrocarburos se tornan pesados y más difíciles de degradar, en la Tabla 1 (Ver Anexo 1) se presentan las industrias que generan más contaminación al suelo por hidrocarburos.

2.2.4.2. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH).

Los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH, por sus siglas en inglés) hace referencia a un gran conjunto de compuestos químicos derivados de petróleo crudo. Debido a que no es práctico medir cada uno por separado, se mide la cantidad total del conjunto de hidrocarburos para determinar el tipo de contaminación (Amazon Frontlines, 2019)

Uno de los factores que limita la eliminación de los hidrocarburos que contaminan es la transferencia de la masa. Los tratamientos de limpieza del suelo utilizan usualmente métodos que permiten el arrastre de los hidrocarburos, pero deben vencer para ello, las fuerzas de adsorción sobre las partículas del suelo por modificaciones de temperatura, de las interacciones químicas (Flores, 2024).

2.2.4.3. Efecto de los Hidrocarburos en los Seres Vivos.

Las consecuencias en los seres humanos al exponerse a hidrocarburos pueden ser muy variado, estas dependen del tipo de compuesto químico, la cantidad de este químico y el tiempo al que se estuvo expuesto (Carvalho, 2023). Los combustibles medianos y pesados suelen ser menos tóxicos que los ligeros debido a que estos últimos contienen grandes cantidades de hidrocarburos saturados (Pandey, 2023).

2.2.4.4. Daños a la Fauna y Flora.

Toda forma de vida se ve afectada por la contaminación por hidrocarburos. Cuando se presenta este tipo de contaminación en cuerpos de agua se afectan directamente las aves y fauna acuática causando problemas para nada, comer y volar. Numerosos estudios han demostrado los efectos del petróleo sobre animales expuestos, desde lesiones de órganos hasta cáncer, defectos reproductivos y la muerte (Astudillo, 2021)²

2.2.5. Microbiología Ambiental.

Es el estudio de los microorganismos en el medio ambiente y su interacción con otros organismos y el ecosistema en general. Esta rama de la microbiología abarca una amplia gama de disciplinas y técnicas que se utilizan para estudiar los microorganismos en el medio ambiente y su papel en los ciclos biogeoquímicos, la conservación de la biodiversidad, la contaminación ambiental y el cambio climático (Vizueté, 2020).

Entre las técnicas utilizadas en la microbiología ambiental se encuentran la secuenciación de ADN, la metagenómica, la espectrometría de masas, la microscopía electrónica, la cromatografía y la espectroscopía. Estas técnicas permiten el análisis de la diversidad microbiana, el estudio de la ecología microbiana, la identificación de microorganismos específicos y la evaluación del impacto ambiental de los contaminantes (Sandoval, 2019).

2.2.6. Bacterias Biodegradadoras

Microorganismos capaces de degradar hidrocarburos y plásticos en sustancias menos tóxicas. Son las más populares en la degradación de hidrocarburos en derrames de petróleo ya que se alimentan exclusivamente de los contaminantes (Márquez, 2024).

2.2.6.1. Tipos de Bacterias Biodegradadoras:

- *Pseudomonas*: su mayor fortaleza es la capacidad para degradar una gran cantidad de compuestos orgánicos, incluyendo hidrocarburos y pesticidas. Usan la oxidación y reducción para el proceso de descomposición;

- *Bacillus*: bacterias utilizadas para degradar compuestos orgánicos en ambientes externos, en especial suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos;
- *Rhodococcus*: capaces de degradar hidrocarburos alifáticos y aromáticos en el suelo y en agua subterránea;
- *Acinetobacter*: al igual que el tipo de bacteria anterior, estas degradan hidrocarburos alifáticos en el suelo y en el agua subterránea (Rabelo, 2022).

2.2.7. Consorcio Microbiano

Conjunto asociado de dos o más poblaciones microbianas de diferentes especies que funcionan mancomunadamente en un sistema complejo con un fin específico, como la biodegradación de contaminantes o la producción de metabolitos de interés. Estos consorcios pueden formarse naturalmente en la naturaleza o pueden ser diseñados y manipulados para su uso en aplicaciones biotecnológicas (Rabelo, 2022).

Un consorcio realiza funciones más complejas que microorganismos individuales. Cada miembro del consorcio puede desempeñar una función específica, como la degradación de un sustrato o la producción de un compuesto en específico, además, la interacción entre los miembros del consorcio puede mejorar la resistencia y la adaptabilidad del consorcio a diferentes condiciones ambientales (Auqui, 2022).

Los consorcios microbianos también pueden ser utilizadas para remediar suelos contaminados con hidrocarburos. En este proceso, los miembros del consorcio se encargan de degradar los contaminantes en el suelo y transformarlos en compuestos menos tóxicos. Este proceso es conocido como bioaumentación y es una alternativa más sostenible y eficiente que los métodos convencionales de remediación (Diaz A. , 2022).

2.2.7.1. Tipos de Consorcios Microbianos.

Consorcios autóctonos: son los microorganismos que se encuentran naturalmente en el suelo contaminado y que pueden ser utilizados para la biorremediación. Estos microorganismos han evolucionado para degradar los

contaminantes presentes en el suelo y por lo tanto son muy eficaces para biorremediación.

Un ejemplo de consorcio autóctono eficiente es el consorcio *Bacillus subtilis*, ya que los microorganismos que lo componen son originarios del mismo ambiente en el que se desarrolló el consorcio, se adapta a las condiciones ambientales del suelo contaminado con hidrocarburo y han desarrollado la capacidad de degradar estos contaminantes de manera eficiente (Auqui, 2022).

Consortios Exógenos: Son los microorganismos que se obtienen de una fuente externa al sitio contaminado, como, por ejemplo, de un suelo no contaminado o de un cultivo puro. Estos consorcios se pueden utilizar para complementar a los consorcios autóctonos en la biorremediación;

Consortios sintéticos: Son los microorganismos que se crean en laboratorio mediante la selección de diferentes cepas de microorganismos con habilidades específicas de degradación. Estos consorcios se pueden utilizar para degradar compuestos que no son degradados por los consorcios autóctonos o exógenos;

Consortios Microbianos Enriquecidos: Son los consorcios microbianos que se obtienen mediante el enriquecimiento de una comunidad microbiana con compuestos específicos. Estos consorcios se pueden utilizar para degradar compuestos específicos en el suelo contaminado (Auqui, 2022).

2.2.8. Cinética de Crecimiento

La cinética de crecimiento se refiere al estudio de cómo se desarrollan y multiplican los microorganismos a lo largo del tiempo en un medio de cultivo. Esta información es esencial para entender y controlar los procesos biológicos, incluyendo la producción de biomasa y la biodegradación de contaminantes (Ojeada, 2023).

El crecimiento de los microorganismos se puede medir en términos de la densidad celular o de la masa celular en un medio de cultivo. La cinética de crecimiento describe como cambia la población de microorganismos en función del tiempo, y se puede modelar matemáticamente para predecir su comportamiento en diferentes condiciones (Morales M. , 2019).

2.2.8.1. Curva de Crecimiento.

El crecimiento bacteriano es el aumento en la cantidad de células o masa celular en un determinado tiempo de un grupo poblacional de miles de millones de células (Castillo D. , 2024). Cuando los microorganismos se reproducen mediante procesos como la fisión binaria el crecimiento conlleva un aumento del número de células, sin embargo, también se produce crecimiento cuando las células simplemente aumentan de tamaño o se alargan. El incremento del número de células es estudiado mediante el análisis de la curva de crecimiento de un cultivo microbiano que presenta gráficamente el logaritmo del número de células viables frente al tiempo de incubación; en la curva de crecimiento se diferencian cuatro fases:

- Fase de adaptación: En esta fase inicial, los microorganismos se adaptan a las nuevas condiciones del medio de cultivo y no hay un aumento significativo en la densidad celular. Durante esta fase, los microorganismos ajustan sus enzimas y sistemas metabólicos para utilizar los nutrientes disponibles
- Fase de crecimiento exponencial o logarítmico: en esta fase, los microorganismos se multiplican de manera exponencial y la densidad celular aumenta rápidamente. En esta fase, los nutrientes son abundantes y no hay limitaciones importantes para el crecimiento, esta fase es de gran interés para la producción de biomasa y para los procesos de tratamiento de aguas residuales y biodegradación de contaminantes.
- Fase estacionaria: En esta fase, la densidad celular se estabiliza debido a la disminución de los nutrientes disponibles, la acumulación de productos tóxicos o la falta de espacio en el medio de cultivo. Durante esta fase, los microorganismos pueden cambiar su metabolismo para adaptarse a las nuevas condiciones y sobrevivir en un ambiente menos favorable.
- Fase de muerte celular: En esta fase, la densidad celular disminuye debido a la falta de nutrientes y acumulación de productos tóxicos. En algunos casos, los microorganismos pueden producir enzimas degradantes para obtener nutrientes de células muertas (Castillo D. , 2024).

2.2.9. Diésel

El diésel es un derivado de la refinación del petróleo y es una mezcla compleja de hidrocarburos saturados y aromáticos, como el, naftaleno, fluoreno y fenantreno. El aceite de diésel contiene moléculas de bajo peso molecular que usualmente son más tóxicas que los hidrocarburos de cadena larga, debido a que las cadenas largas son menos solubles y biodisponibles. Se ha reportado que el diésel puede causar irritación en la piel y respuesta tumorigénica en ratones. El diésel es considerado nocivo y posiblemente cancerígeno para los seres humanos y contienen PAHs que a su vez pueden ocasionar un riesgo para la salud humana (Mata, 2019).

2.2.9.1. Composición química del diésel.

Sus principales componentes se subdividen y purifican en distintas fracciones:

- Fracción saturada: alcanos, alcanos ramificados con cadenas alquílicas y las cicloparafinas
- Fracción aromática: monoaromáticos, diaromáticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH'S).
- Fracción de resinas.

2.3 Marco legal

2.3.1. Constitución de la república del Ecuador (2008)

En el Capítulo Segundo: Derechos del buen vivir; Sección segunda: Ambiente sano, establece que:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak kawsay.

Se declara interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En el Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales; Sección primera: naturaleza y ambiente, se destaca:

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios principales ambientales:

El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras

En la Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas, del capítulo anteriormente mencionado, indica:

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no ponga en riesgo la soberanía alimentaria, e equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

2.3.2. Código Orgánico Ambiental (2017)

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;
2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques

nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;

3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;

4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;

5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;

6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;

7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;

8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;

9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente;

10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;

11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho; y,

12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática ya los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

Art. 6.- Derechos de la naturaleza. Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración. Para la garantía del ejercicio de sus derechos, en la planificación y el ordenamiento territorial reincorporarán criterios ambientales territoriales en virtud de los ecosistemas. La Autoridad Ambiental Nacional definirá los criterios ambientales territoriales y desarrollará los lineamientos técnicos sobre los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza.

2.3.2. Código orgánico integral penal (2014)

En el Capítulo 4 de delitos contra el ambiente y la naturaleza o Pacha Mama, Sección primera: delitos contra la biodiversidad, establece que:

Art. 245.- Invasión de áreas de importancia ecológica. - La persona que invada las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o ecosistemas frágiles, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años. Se aplicará el máximo de la pena prevista cuando: 1. Como consecuencia de la invasión, se causen daños graves a la biodiversidad y recursos naturales.

1. Se promueva, financie o dirija la invasión aprovechándose de la gente con engaño o falsas promesas.

Art. 252.- Delitos contra suelo. - La persona que, contraviniendo la normativa vigente, en relación con los planes de ordenamiento territorial y ambiental cambie el uso del suelo forestal o el suelo destinado al mantenimiento y conservación de

ecosistemas nativos y sus funciones ecológicas, afecte o dañe su capa fértil, cause erosión o desertificación, provocando daños graves, será sancionada con pena privativa de libertad de tres a cinco años.

Se impondrá el máximo de la pena si la infracción es perpetrada en un espacio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o si la infracción es perpetrada con ánimo de lucro o con métodos, instrumentos medios que resulten en daños extensos y permanentes.

2.3.3. Acuerdo ministerial 028; Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2019)

Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. En el Anexo 2 de la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, establece que:

Art. 217 Calidad de Suelos. - Para realizar una adecuada caracterización de este componente en los estudios ambientales, así como un adecuado control, se deberán realizar muestreos y monitoreo siguiendo las metodologías establecidas en el Anexo II del presente Libro y demás normativa correspondiente.

Art. 218 Tratamiento de Suelos Contaminados. - Se lo ejecuta por medio de procedimientos validados por la Autoridad Ambiental Competente y acorde a la norma técnica de suelos, de desechos peligrosos y demás normativa aplicable. Los sitios de disposición temporal de suelos contaminados deberán tener medidas preventivas eficientes para evitar la dispersión de los contaminantes al ambiente.

Art. 219 Restricción. - Se restringe toda actividad que afecte la estabilidad del suelo y pueda provocar su erosión.

2.3.4. Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas; Registro Oficial 254 de 02 de febrero del (2019)

Art. 9.- Protección Ambiental, Gestión Social y Comunitaria. Los Sujetos de Control deberán cumplir con los principios constitucionales en materia ambiental y las disposiciones jurídicas sobre materia de seguridad industrial, participación social y demás disposiciones legales, reglamentarias y contractuales vigentes.

Art. 127.- Planes de Manejo de Integridad.- Los Sujetos de Control que tengan a su cargo la construcción, operación o mantenimiento de Ductos Principales o Secundarios que transportan hidrocarburos, Biocombustibles y sus mezclas, dentro del territorio ecuatoriano; deben desarrollar, implementar y ejecutar un plan de manejo de la integridad que permita minimizar eventos no deseados (fallas, derrames, incendios, etc.), optimizar recursos, minimizar fallas humanas u operacionales, mejorando la seguridad de los ductos y evitando afectaciones a la sociedad y al ambiente. El plan deberá ser remitido a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

2.3.5. Acuerdo ministerial 097; (2015)

ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION PARA SUELOS CONTAMINADOS

Esta norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, se somete a las disposiciones contenidas en esos instrumentos y es de aplicación obligatoria por parte de toda persona natural o jurídica, pública o privada, que desarrolle actividades que tengan potencial de afectación a la calidad ambiental del suelo en todo el territorio nacional.

4.4 CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION

4.4.1 Caracterización inicial del suelo. - La calidad inicial del suelo presentado por el proponente, como parte del Estudio de Impacto Ambiental, constituirá el valor referencial respecto al cual se evaluará una posible contaminación del suelo, en función de los parámetros señalados en la Tabla 1. En caso de evidenciar valores superiores a los establecidos en la Tabla 1, de origen natural, estos se considerarán como línea base inicial antes de la implementación del proyecto. Si por origen antropogénico los valores son superiores a los establecidos en la Tabla 1, la Autoridad Ambiental Competente exigirá al causante y/o responsable aplicar un programa de remediación, sin perjuicio de las acciones administrativas y legales que esto implique. Los valores de los parámetros deberán cumplir con los criterios de remediación de la Tabla 2, según el uso de suelo que corresponde.

4.4.2 Criterios de calidad del suelo. - Los criterios de calidad del suelo son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante presente en el suelo. Los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Estos valores pueden ser el resultado de la evolución natural del área, a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas. Los criterios de calidad del suelo constan en la Tabla 1.

4.4.3 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que desarrolle actividades que tengan el potencial de afectar al recurso suelo, presentará periódicamente a la Autoridad Ambiental Competente un informe de monitoreo de la calidad del suelo, reportando los parámetros aplicables para el uso respectivo, según consta en la Tabla 1 y los que la Autoridad Ambiental disponga. La periodicidad y el plan de monitoreo deben ser establecidos en el Plan de Manejo Ambiental del proyecto, obra o actividad o conforme la Autoridad Ambiental Competente lo disponga.

4.4.4 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.

4.7 REMEDIACION DE SUELOS

4.7.1 Del proceso de remediación

4.7.1.1 En el caso de determinarse la contaminación del suelo, el sujeto de control pondrá en ejecución las medidas establecidas en el programa de remediación aprobado por la Autoridad Ambiental Competente de acuerdo a lo establecido en el numeral.

4.3.1.5 de la presente norma y/o la normativa sectorial en el caso de que aplique, dentro de los plazos y condiciones señaladas para su adopción y ejecución. El plazo dependerá de la situación, y será definido por la Autoridad Ambiental Competente.

4.7.1.2 La remediación del suelo se ejecutará utilizando la mejor tecnología disponible, atendiendo a las características propias de cada caso, buscando soluciones que garanticen la recuperación y el mantenimiento permanente de la calidad del suelo.

4.7.1.3 Se privilegiarán las técnicas de remediación in situ. El traslado de suelos contaminados para tratamiento y/o disposición ex situ sólo será posible en casos especiales, debidamente justificados ante la Autoridad Ambiental Competente, quien autorizará expresamente su ejecución.

4.7.1.4 Se utilizará la Tabla 2 para establecer los límites para la remediación de suelos contaminados de la presente norma y/o de la normativa sectorial correspondiente.

4.7.1.5 Ante la inaplicabilidad para el caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia en la norma de un parámetro relevante para el suelo bajo estudio, la Autoridad Ambiental Competente debe obligar al sujeto de control a la remediación del suelo hasta que la relación entre la concentración presente del parámetro y su valor de fondo sea igual o menor a 1,5.

4.7.1.6 El sujeto de control debe tomar muestras superficiales y en profundidad de la manera ya señalada en el apartado.

4.5.2, a fin de verificar el resultado de la remediación, en los puntos de monitoreo establecidos en el programa de remediación y/o en los que la Autoridad Ambiental Competente lo establezca.

2.3.6. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019).

LIBRO PRIMERO

REGIMEN INSTITUCIONAL

TITULO I

SISTEMA NACIONAL DESCENTRALIZADO DE GESTION AMBIENTAL

CAPITULO I

INSTITUCIONALIDAD AMBIENTAL

Art. 7.- Biodiversidad como recurso estratégico. - La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá la rectoría y gestión del sector estratégico de la biodiversidad, desarrollando el modelo de gestión intersectorial conforme las competencias, facultades y atribuciones establecidas en la normativa vigente.

CAPITULO II

COMITES NACIONALES AMBIENTALES

Art. 8.- Comités Nacionales Ambientales. - Los comités nacionales ambientales son parte del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental. Se constituyen como cuerpos colegiados, encargados de la coordinación de las políticas nacionales intersectoriales en materia ambiental. Los comités nacionales ambientales serán presididos por la Autoridad Ambiental Nacional, quien ejercerá voto dirimente en las decisiones que se adopten en sus plenos.

Art. 9.- Coordinación. - Corresponde a la Autoridad Ambiental Nacional, mediante la dependencia administrativa que designe para el efecto, la coordinación y convocatoria de los comités nacionales ambientales.

Art. 10.- Reglamento Interno. - Cada comité nacional ambiental, a través del acto administrativo correspondiente, emitirá su respectivo reglamento interno de funcionamiento, que definirá los mecanismos y procedimientos internos requeridos para convocar, dirigir y tomar decisiones, así como los procedimientos requeridos para crear subcomités sobre temas específicos. Su aprobación se dará dentro del pleno de los comités con el voto favorable de la mitad más uno de sus miembros.

Art. 11.- delegados. - Los funcionarios asignados a los comités nacionales ambientales deberán tener una presencia permanente dentro de los mismos y servirán de punto focal dentro de sus respectivas instituciones para las temáticas a las que fueron asignados. Todo delegado a los comités deberá tener poder de decisión.

Mediante el acto administrativo que determine su reglamento interno, los comités podrán incluir nuevos miembros.

Según las necesidades del caso, los comités convocarán a delegados especializados de otras entidades públicas, Gobiernos Autónomos Descentralizados o representantes de la sociedad civil, sector privado y academia, que tendrán voz, pero no voto.

Art. 12.- Operatividad. - Los comités nacionales ambientales producirán los informes y dictámenes necesarios para coordinar la política pública intersectorial en el marco de sus atribuciones, en observancia de las políticas públicas formuladas por la Autoridad Ambiental Nacional, según el ámbito de su competencia. Los comités coordinarán la integración de las disposiciones ambientales de los instrumentos internacionales ratificados por el Estado en la normativa nacional.

SECCION 3a

COMITE NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL

Art. 17.- Comité Nacional de Calidad Ambiental. - Créase el Comité Nacional de Calidad Ambiental, instancia técnica de coordinación conformada por delegados especializados permanentes de las siguientes instituciones:

a) La Autoridad Ambiental Nacional, quien lo presidirá y tendrá voto dirimente;

- b) La Autoridad Única del Agua;
- c) La Autoridad Nacional de Electricidad y Energía Renovable;
- d) La Autoridad Nacional de Minería;
- e) La Autoridad Nacional de Hidrocarburos;
- f) La Autoridad Nacional de Salud;
- g) La Autoridad Agraria Nacional; y
- h) La Autoridad Nacional de Telecomunicaciones.

Art. 18.- Coordinación del manejo ambiental. - El Comité Nacional de Calidad Ambiental definirá mecanismos de cooperación interinstitucional para consolidar el Sistema Único de Manejo Ambiental. Se articularán las facultades y atribuciones de cada organismo sectorial, sin perjuicio de las competencias exclusivas de la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

Art. 19.- Atribuciones. - Serán atribuciones del Comité Nacional de Calidad Ambiental:

- a) Coordinar la aplicación intersectorial de la política ambiental nacional referente a la prevención y control de la contaminación ambiental, y la reparación integral de los daños y pasivos ambientales;
- b) Coordinar el cumplimiento de las obligaciones ambientales asumidas por el Estado mediante instrumentos internacionales ratificados sobre prevención y control de la contaminación ambiental;
- c) Coordinar los lineamientos de política pública ambiental de los sectores estratégicos establecidos en la Constitución de la República; y
- d) Coordinar los instrumentos intersectoriales necesarios para complementar las funciones sectoriales de control, regulación y seguimiento de la calidad ambiental.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación será de campo, laboratorio y experimental, según Arteaga (2021) la investigación de campo tiene como objetivo comprender, analizar e interactuar de manera cualitativa con los individuos en el entorno que le rodea, ya sea de forma nativa y recopilación de datos.

Aldrete (2019) se refiere a investigación de laboratorio como el espacio de trabajo de uso compartido en el cual se puede llevar a cabo ensayos correspondientes a proyectos de investigaciones en las cuales se incorpora en la experimentación de las variables en ambientes controlados.

El presente proyecto de investigación de campo y laboratorio ya que se pretende desarrollar la etapa de la recolección de los datos con las muestras de suelo contaminado con Diésel en la cual se realizará el análisis de remoción la capacidad que tienen los consorcios microbianos para el mejoramiento de calidad del suelo.

El nivel de conocimiento de la investigación será de forma descriptiva ya que se describirán los datos obtenidos del análisis de la capacidad de remoción del consorcio microbiano para la biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburo.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación que se va a realizar será experimental ya que este tipo de diseño se utiliza para establecer relaciones causales entre las variables y se basa en la manipulación de consorcios microbianos. En este estudio se realizará el tratamiento de biorremediación del suelo contaminado por hidrocarburo mediante la aplicación de consorcios microbianos a través de la técnica de bioaumentación. Se realizó la recolección de 1 kg de suelo del área de estudio y se aplicó 1 litro de diésel para el experimento y determinar la eficacia del tratamiento en la remoción de los contaminantes. De esta manera, se podrá determinar si el uso de consorcios microbianos es una estrategia efectiva para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburo.

3.2 Metodología

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Variable independiente.

- Consorcios microbianos

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Determinación del pH
- Humedad (%)
- Temperatura del suelo
- Composición de materia orgánica (%)
- Porcentaje de TPH presente en el suelo. (%)

3.2.2. Tratamientos

Se realizará 10 tratamientos de dos consorcios microbianos (*Trichoderma sp* y *Bacillus pumilus*) en la remediación de suelo contaminado por diésel, utilizando un diseño experimental completamente al azar con diez tratamientos y dos repeticiones por dosis para cada tratamiento.

Tabla 1.

Tratamientos mediante dos consorcios microbianos en diferentes dosis.

Tratamientos	Consorcio microbiano	Dosis
T1	<i>Trichoderma sp</i>	10 ml/kg
T2	<i>Trichoderma sp</i>	20 ml/kg
T3	<i>Trichoderma sp</i>	30 ml/kg
T4	<i>Trichoderma sp</i>	40 ml/kg
T5	<i>Trichoderma sp</i>	60 ml/kg
T6	<i>Bacillus pumilus</i>	5 ml/kg
T7	<i>Bacillus pumilus</i>	10 ml/kg
T8	<i>Bacillus pumilus</i>	15 ml/kg
T9	<i>Bacillus pumilus</i>	20 ml/kg
T10	<i>Bacillus pumilus</i>	30 ml/kg

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.3. Diseño experimental

Para la presente investigación se considero un diseño de bloques al azar debido a que agrupa los tratamientos en dos bloques distintos basados en los consorcios microbianos (*Trichoderma* y *Bacillus*), lo que permite controlar la variabilidad que

podría surgir de las diferencias en el efecto de cada consorcio sobre los resultados. Además, se empleó un diseño factorial que se basa en 10 tratamientos con 2 repeticiones cada uno. Posteriormente se realizó una prueba de normalidad de datos para determinar su comportamiento, y se determinó que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, se aplicó una prueba tukey al 5% de probabilidad de error factorial para determinar la variabilidad entre los promedios de los diferentes tratamientos.

3.2.4. Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos.

Para el trabajo de investigación se utilizarán los siguientes recursos:

- Internet
- Laptop
- Microsoft office
- Libros
- Revistas científicas, sitios web, paper e informes
- Cuaderno
- Pluma
- Utilización de materiales de laboratorio
- Formato de Tesis de la universidad

Equipos de laboratorio

- Bacterias activas
- Balanza electrónica
- Pipeta
- Matraz de 1L
- Tubos de ensayo

Materiales de muestreo

- Botellas de vidrio
- Espátula metálica
- Bolsa Ziploc
- Mechero
- Casco

- Chaleco
- Mascarilla
- Botas
- Ficha de observación
- Barreno

Materiales de recolección, análisis y tratamiento

- 1 litro de diésel para dosis de tratamiento
- Agua destilada

3.2.4.2. Métodos y técnicas.

3.2.4.2.1. Obtención del suelo contaminado con diésel.

- El suelo contaminado con hidrocarburo se adquirirá en la gasolinera de servicio Terpel, ubicado en Guayacanes en la Avenida Isidro Ayora Cueva.
- Se debe recolectar la muestra de suelo al menos 1kg de suelo y se debe secar al aire en condiciones ambientales o se puede utilizar un horno a una temperatura de 60°C durante 24 horas.
- Se debe tamizar la muestra de suelo para eliminar las piedras y otros materiales no deseados luego se pesan las muestras de suelo y se registra el peso en seco
- Se realizarán análisis químicos para determinar la acidez, alcalinidad, pH, humedad del suelo.

Para realizar estos análisis se recomienda utilizar 100 gramos de suelo por muestra análisis químicos y físicos, eso asegura que se obtengan resultados precisos y confiables.

3.2.4.2.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo limpio y el suelo contaminado con diésel.

Los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo limpio y contaminado con diésel fueron analizados por el laboratorio Elicrom, la metodología se resume de la siguiente manera, según los métodos de referencia proporcionados:

- **Obtención de Muestras:** El laboratorio Elicrom recibió muestras de suelo limpio y suelo contaminado con diésel para el análisis de sus propiedades

fisicoquímicas. Es crucial asegurar que las muestras sean representativas del sitio en estudio.

- **Preparación de Muestras:** Las muestras se prepararon para los análisis siguiendo los protocolos internos del laboratorio. Esto puede incluir secado, tamizado y homogeneización para asegurar la consistencia de la muestra.
- **Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos:**
 - Conductividad Eléctrica:** Se determinó utilizando el método interno PEE.EL.023, referenciado en HACH Methods 8160. Este método mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, lo cual indica la presencia de sales y otros contaminantes.
 - Materia Orgánica:** Se determinó utilizando el método interno PEE.EL.099, referenciado en NEN 5754. Este método cuantifica la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, un indicador clave de la salud del suelo y su capacidad para sustentar la vida microbiana.
 - Temperatura:** Se determinó utilizando el método interno PEE.EL.022, referenciado en Standard Methods Ed. 22 – 2012, 2550 B. La temperatura del suelo es un parámetro importante que puede afectar la actividad biológica y la volatilización de contaminantes.
 - pH:** Se determinó utilizando el método interno PEE.EL.021, referenciado en Standard Methods Ed. 22 -2012, 4500 HB. El pH del suelo influye en la disponibilidad de nutrientes y la movilidad de los contaminantes.
 - Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH):** Se determinaron utilizando el método interno PEE.EL.034, referenciado en EPA Method 8015D. Este método cuantifica la concentración total de hidrocarburos presentes en el suelo, indicando el nivel de contaminación por diésel.
- **Cuantificación de la Contaminación:** se evalúa la cantidad de hidrocarburos de petróleo (TPH) presentes en el subsuelo (mg/kg). El TPH se define como la suma de compuestos orgánicos semivolátiles (diésel y aceites) y compuestos orgánicos volátiles (gasolina).
- **Análisis de Datos:** Los datos obtenidos se analizaron para comparar las diferencias entre las muestras de suelo limpio y contaminado.

3.2.4.2.3. Bioaumentación del suelo contaminado.

La bioaumentación del suelo contaminado con hidrocarburos se puede realizar mediante la adición de consorcios microbianos capaces de degradar el contaminante. Para esto, se pueden seguir los siguientes pasos:

- **Tipo consorcio microbiano empleado:** la presente investigación empleo dos agentes biorremediadores de principio activo, que son; *Bacillus Pumilus* y *Trichoderma Sp*, se seleccionaron estos consorcios debido a su capacidad para descomponer compuestos orgánicos complejos, como los presentes en los hidrocarburos totales de petróleo (HTP).
- **Preparación del suelo contaminado:** El suelo contaminado debe ser recolectado y mezclado para homogeneizarlo. Luego se deben tomar las muestras para los análisis previos al tratamiento.
- **Adición del consorcio microbiano al suelo contaminado:** la adición se realizará mediante una aplicación directa y controlada para asegurar una distribución uniforme de los microorganismos. Inicialmente, se prepararán diez muestras de suelo contaminado, divididas en dos grupos principales correspondientes a cada consorcio microbiano. Para cada consorcio, se establecerán cinco tratamientos distintos, cada uno con una dosis diferente del bioinoculante. Cada tratamiento se replicará dos veces para garantizar la robustez estadística de los resultados. La adición de los consorcios se efectuará mediante la mezcla homogénea de cada dosis específica con el suelo contaminado en recipientes separados. Se prestará especial atención a la humedad del suelo para optimizar la actividad microbiana, y se incubarán bajo condiciones controladas para favorecer la biodegradación de los hidrocarburos.
- **Incubación del suelo:** Después de la adición del consorcio microbiano, el suelo debe ser incubado a una temperatura y humedad adecuadas para que las bacterias puedan crecer y degradar el contaminante. La temperatura de incubación debe ser la óptima para las bacterias del consorcio.
- **Análisis de la remoción del hidrocarburo:** Luego de un tiempo de incubación adecuado, se deben tomar muestras del suelo tratado para

analizar la remoción del hidrocarburo. Los análisis pueden ser físicos, químicos o microbiológicos, según los objetivos de la investigación.

3.2.4.2.4. Determinación de la eficiencia de biodegradación de las muestras de suelo contaminado con diésel mediante cepas de *Trichoderma sp.* y *Bacillus pumilus*.

Para determinar los niveles de eficiencia en la biodegradación de los niveles de hidrocarburos en los diferentes tratamientos se empleó la fórmula de eficiencia de degradación de hidrocarburos:

$$E = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100$$

Donde:

E = Eficiencia de la biodegradación de petróleo (%)

S_i = Concentración inicial de TPH

S_f = Concentración final de TPH

En primera instancia, se considerarán los resultados obtenidos en el objetivo 1. Una vez que se hayan determinado la eficiencia de biodegradación en los 10 tratamientos, se llevará a cabo un nuevo análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y posteriormente, se someterán a un análisis de ANOVA, estos resultados se compararán con el resultado de las muestras de suelo no contaminada.

3.2.4.2.5. Evaluación de la efectividad del tratamiento.

Se deben comparar los resultados obtenidos antes y después del tratamiento para determinar la efectividad del tratamiento en la remoción de hidrocarburo.

3.2.4.2.6. Proponer que tratamiento es más efectivo para recuperar el suelo degradado por TPH.

Basados en los análisis de laboratorio de las propiedades fisicoquímicas del suelo se realizó una evaluación para determinar el tratamiento con mayor eficacia en la reducción de concentración de gasolina. A partir de esta información, se

detallaron el tipo de microorganismo utilizado, la dosis óptima aplicada, el tiempo de tratamiento y el porcentaje de reducción del contaminante logrado.

3.2.5. Análisis estadístico

3.2.5.1 Media

Se empleo esta medida estadística ya que fue necesaria para determinar la distribución de las diferentes variables de los tratamientos

- **Media**

$$Media (\bar{x}) = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

Donde:

\bar{x} : Promedio muestral estadístico.

$X_1 + X_2 + \dots + X_N$: El conjunto de datos.

N : Numero de datos.

3.2.5.2 Desviación estándar

Se implemento la desviación estándar debido a que fue una variable fundamental para determinar la distribución de los datos obtenidos del presente estudio:

- **Desviación estándar**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^N (X_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar.

X_i : Observación número i de la variable X.

N: Número de observaciones.

\bar{x} : Es la media de la variable X.

Una vez ordenados los resultados se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para determinar el comportamiento de los datos por cada variable en estudio.

Para ello se hizo uso del software estadístico Infostat. Para los datos que presentaron una distribución normal se analizó su varianza por medio de un ANOVA y aquella que no, se utilizó un método no paramétrico como lo es Kruskal-Wallis y finalmente para este tipo de datos se utilizó la prueba de Dunn para observar cuál de los tratamientos presenta una diferencia estadística significativa respecto a los demás. Para las variables analizadas con ANOVA, su diferencia significativa fue analizada mediante pruebas de Tukey.

3.2.5.3. Prueba estadística Tukey 5%.

Se empleó este método estadístico para evaluar la eficiencia de remoción y determinar si existen diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos con respecto a los parámetros fisicoquímicos. Por ello se determinó la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \text{ (Las medias son iguales)}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \text{ (Las medias no son iguales)}$$

3.2.5.4. Prueba estadística de t-student.

Se aplicó una prueba t-student para determinar si la concentración final de TPH en el suelo tratado de mayor eficiencia cumple o no con lo establecido en la normativa ambiental vigente.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

Donde:

μ = media de la población.

\bar{x} = media de la distribución de datos.

n = tamaño de la muestra.

s = error estándar de la muestra.

Se planteó las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula:** El nivel de TPH no sobrepasa a los criterios de remediación establecido por la normativa.

$$H_0 : \mu = 620 \text{ mg/kg}$$

- **Hipótesis alternativa:** El nivel de TPH sobrepasa los criterios de remediación establecido por la normativa.

$$H_1 : \mu > 620 \text{ mg/kg}$$

4. Resultados

4.1 Examinar las características físico-químicas de suelo limpio y suelo contaminado con hidrocarburos

Con el fin de realizar el presente estudio, se recolectaron muestras de suelo sin contaminar y suelo contaminado con diésel de la gasolinera de servicio Terpel, ubicada en Guayacanes en la Avenida Isidro Ayora Cueva de la ciudad de Guayaquil, las muestras de suelo limpio y contaminado fueron recolectadas el 1 de enero del 2024 y analizadas el 4 de enero del 2024 en el Laboratorio ELICROM. Para ello se aplicaron distintos métodos de ensayo para la determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo limpio y contaminado, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 2.

Métodos empleados por el laboratorio ELICROM en el análisis de las muestras de suelo

Parámetro	Métodos	
	Método interno Del laboratorio	Método de referencia (internacional)
Conductividad	PEE.EL.023	HACH Methods 8160
Materia orgánica	PEE.EL.099	NEN 5754
Temperatura	PEE.EL.022	Standard Methods Ed. 22 – 2012, 2550 B
pH	PEE.EL.021	Standard Methods Ed. 22 -2012, 4500 HB
Hidrocarburos totales de petróleo	PEE.EL.034	EPA Method 8015D

Elaborado por: La Autora, 2025

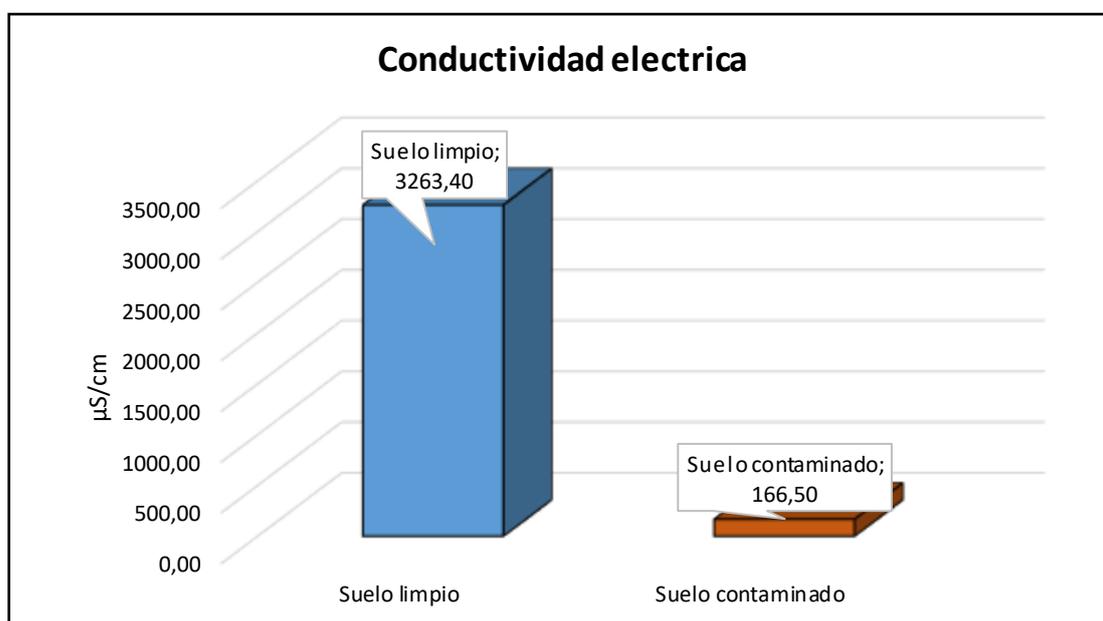
El laboratorio ELICROM con respecto al análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos empleo métodos internos que toma como referencia métodos internacionales, las condiciones ambientales de análisis fueron de 22.3 °C; 62.3 %HR (humedad relativa). De acuerdo con la tabla 2, para el análisis del parámetro de conductividad eléctrica de las muestras de suelo limpio y contaminado por diésel se empleó el método interno del laboratorio (PEE.EL.023) la cual toma como referencia el método de medición directa denominada como

HACH Method 8160, mientras que la materia orgánica fue analizada por el método PEE.EL.099 referenciada en el método NEN 5754 la cual se puede aplicar a todo tipo de suelo. Por otro lado, el parámetro de temperatura fue determinada por el método interno del laboratorio PEE.EL.022, el cual se encuentra referenciado por el método Standard Methods Ed. 22 – 2012, 2550 B la misma que se encuentra aprobado por la EPA, del mismo modo el parámetro de el pH fue determinada mediante el método interno del laboratorio denominado PEE.EL.021, referenciada en el método Standard Methods Ed. 22 -2012, 4500 HB, y por ultimo para la determinación del TPH (Hidrocarburo totales de petróleo) se empleó el método interno del laboratorio PEE.EL.034, referenciado en el método EPA Method 8015D.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo limpio y contaminado por hidrocarburo (diésel) recolectadas del área de estudio, fueron determinadas por el laboratorio ELICROM, dichos resultados se detallan a continuación:

Figura 1.

Conductividad eléctrica en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado



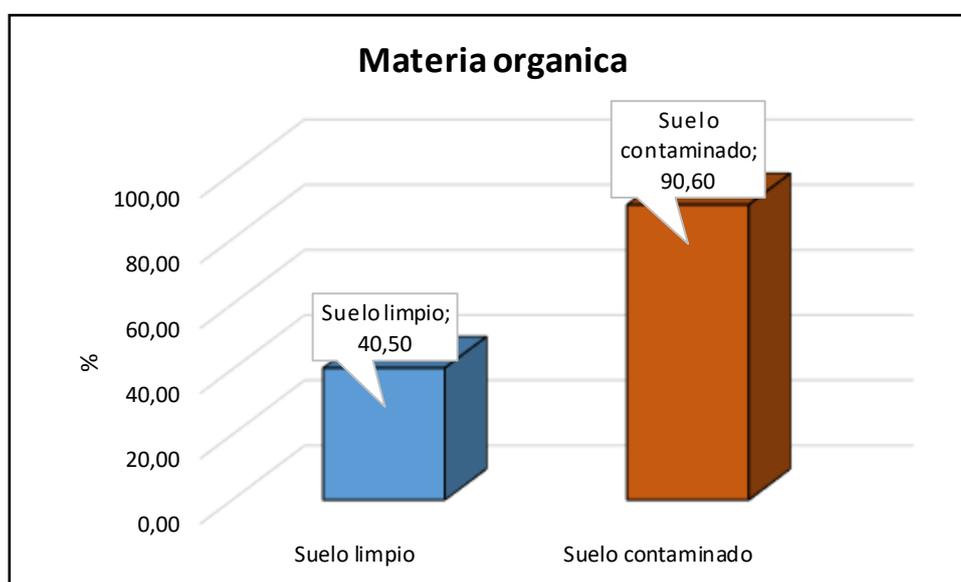
Elaborado por: La Autora, 2025

Durante el análisis realizado a las muestras de suelo, se pudo determinar que existen diferencias significativas en la mayoría de los parámetros analizados. El análisis del parámetro de conductividad eléctrica de las muestras de suelo (ver tabla 3) indicaron los siguientes resultados; con respecto a la muestra de suelo

contaminado, esta presento una conductividad de 166.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a diferencia del suelo limpio que cuenta con una conductividad de 3263.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta diferencia de valores en la conductividad eléctrica representa una disminución de -3096.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que se estima que la reducción de los niveles de conductividad eléctrica va ligada a la perdida de sales en el suelo que es ocasionada por los altos niveles de hidrocarburos (diésel).

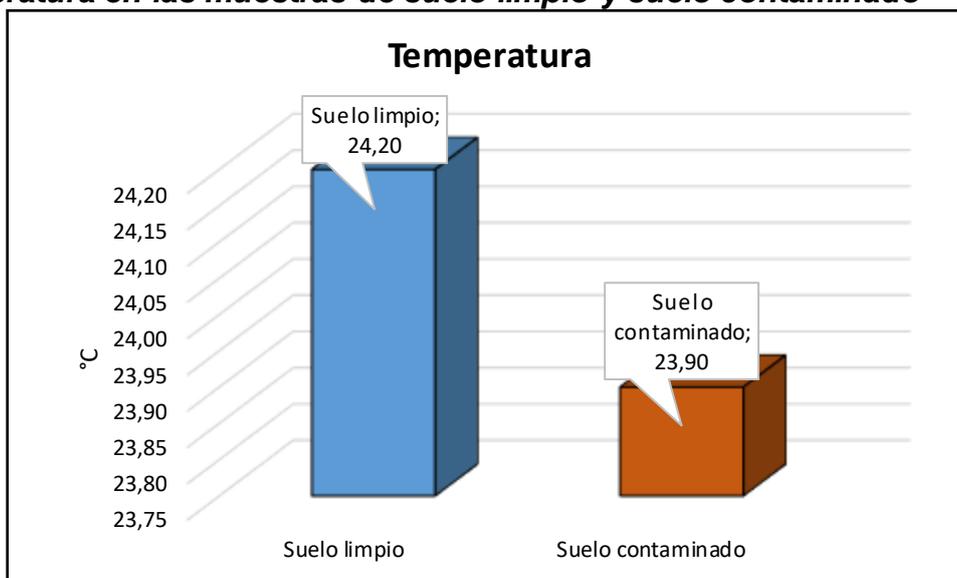
Figura 2.

Contenido de materia orgánica en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado



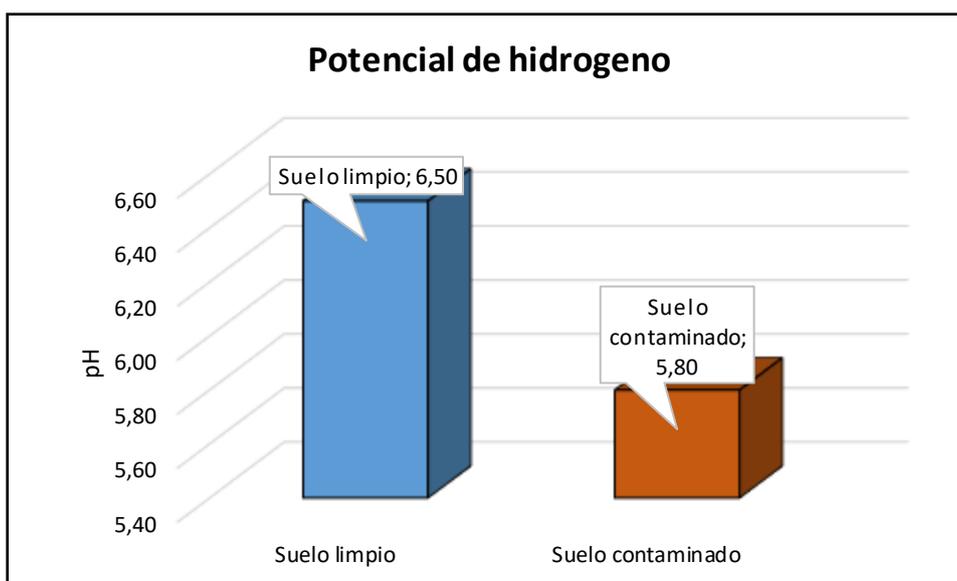
Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto al parámetro de materia orgánica (ver tabla 3), las muestras del suelo tuvieron una diferencia significativa en el porcentaje de materia orgánica. Con respecto a la muestra del suelo limpio, esta presento 40.50% de materia orgánica a diferencia de la muestra del suelo contaminado el cual conto con un porcentaje de materia orgánica de 90.60%, esto representa un aumento de 50.10% de materia orgánica, que ve sujeta al contenido de hidrocarburo, es decir el hidrocarburo al ser orgánico y encontrarse en proporciones considerablemente altas, aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo.

Figura 3.***Temperatura en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado***

Elaborado por: La Autora, 2025

La temperatura en las muestras de suelo limpio y contaminado por hidrocarburos no mostraron diferencias significativas (ver tabla 3), las temperaturas oscilaron entre 24.20°C para la muestra de suelo limpio y 23.90°C para la muestra de suelo contaminado.

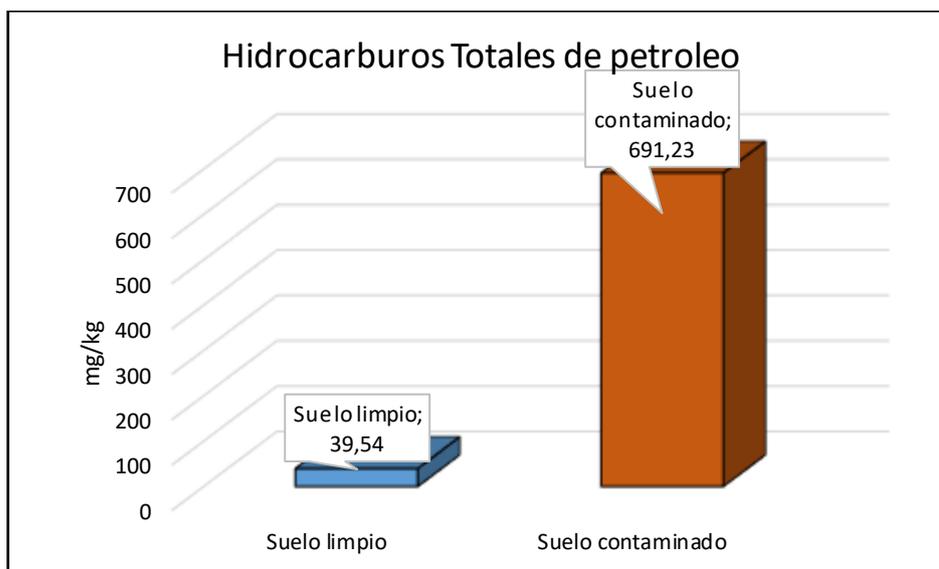
Figura 4.***Potencial de hidrógeno en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado***

Elaborado por: La Autora, 2025

Así mismo, con respecto al potencial de hidrogeno (pH), las muestras del suelo presentaron una variación significativa, con 6.50 pH para suelo limpio y 5.80 pH para suelo contaminado por hidrocarburos (ver tabla 3).

Figura 5.

Hidrocarburos totales de petróleo en las muestras de suelo limpio y suelo contaminado



Elaborado por: La Autora, 2025

Por último, durante el análisis del parámetro de hidrocarburos totales de petróleo en las muestras de suelo, determinaron que el suelo limpio contó con 39.54 mg/kg de TPH, mientras que el suelo contaminado tuvo una concentración de 691.23 mg/kg de TPH, lo que indica un aumento de 651.69 mg/kg de TPH, el aumento de este parámetro es debido al derrame directo provocada por el continuo transporte de combustible sobre el suelo del área de estudio.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos realizados en el laboratorio de las muestras de suelo limpio y contaminado con diésel fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles estipulados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (ver tabla 3).

Tabla 3.

Comparación de las propiedades fisicoquímicas de las muestras de suelo limpio y suelo contaminado con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa

Parámetro	Tipo de suelo		LMP (Límite Máximo Permisible)
	Suelo limpio	Suelo contaminado	
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	3263.40	166.50	400
Materia orgánica %	40.50	90.60	-----
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	24.20	23.90	-----
Potencial de hidrogeno pH	6.50	5.80	6 a 8
Hidrocarburos Totales de petróleo mg/kg	39.54	691.23	620

Nota: ----- no aplica

Elaborado por: La Autora, 2025

Los resultados de la tabla 3 evidenciaron que varios parámetros no cumplieron con los LMP por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Con respecto al parámetro de conductividad eléctrica, la muestra de suelo limpio no cumple con los LMP (400 $\mu\text{S/cm}$), y esto se debe a la gran cantidad de sales en el suelo, sin embargo, en el caso de la muestra de suelo contaminado con una concentración de 166.50 $\mu\text{S/cm}$, los niveles de sales disminuyeron debido a la presencia de diésel por lo tanto si se cumple con los LMP. Con respecto al parámetro de potencial de hidrogeno, el suelo limpio cumple parcialmente con el LMP (6 a 8 pH), mientras que el suelo contaminado con diésel no cumple con los LMP, por otro lado, el parámetro de TPH analizados en las muestras de suelo indicaron que la muestra de suelo limpio cumplió con los LMP (620 mg/kg), sin embargo, debido a la gran cantidad de TPH en la muestra de suelo contaminado (691.23 mg/kg), estas no cumplieron con los LMP. Finalmente, con respecto a los parámetros de materia orgánica y temperatura no se aplicaron los LMP.

4.2 Evaluar el porcentaje de remoción de TPH generado por el consorcio microbiano mediante análisis de laboratorio

Para llevar a cabo el presente objetivo se sometieron las muestras de suelo contaminado por hidrocarburo (diésel) a diferentes dosis de consorcios microbianos (*Bacillus Pumilus* y *Trichoderma Sp*), el tratamiento con dichos consorcios se realizó desde el 15 de enero del 2024 al 15 de febrero del 2024. Posterior a la obtención de los resultados del TPH (hidrocarburos totales de petróleo) de las muestras de suelo con consorcios microbianos se procedió a determinar los niveles de degradación de hidrocarburos (diésel) aplicando la fórmula de eficiencia de la degradación de hidrocarburos, dichos resultados se detallan a continuación:

Tabla 4.

Eficiencia de biodegradación de hidrocarburos en las muestras de suelo contaminado

Tratamientos	Repeticiones	Dosis ml/kg	Concentración inicial de TPH (mg/kg)	Concentración final de TPH (mg/kg)	Eficiencia de la biodegradación de petróleo (%)
T1. <i>Trichoderma sp</i>	R1	10	691.23	84.21	87.82
	R2		691.23	85.57	87.62
T2. <i>Trichoderma sp</i>	R1	20	691.23	50.32	92.72
	R2		691.23	51.12	92.60
T3. <i>Trichoderma sp</i>	R1	30	691.23	40.01	94.21
	R2		691.23	40.58	94.13
T4. <i>Trichoderma sp</i>	R1	40	691.23	30.01	95.66
	R2		691.23	31.96	95.38
T5. <i>Trichoderma sp</i>	R1	60	691.23	25.47	96.32
	R2		691.23	25.74	96.28
T6. <i>Bacillus pumilus</i>	R1	5	691.23	99.55	85.60
	R2		691.23	99.81	85.56
T7. <i>Bacillus pumilus</i>	R1	10	691.23	97.35	85.92
	R2		691.23	99.10	85.66
T8. <i>Bacillus pumilus</i>	R1	15	691.23	85.68	87.60
	R2		691.23	86.41	87.50
T9. <i>Bacillus pumilus</i>	R1	20	691.23	70.55	89.79
	R2		691.23	72.45	89.52
T10. <i>Bacillus pumilus</i>	R1	30	691.23	55.55	91.96
	R2		691.23	55.75	91.93

Elaborado por: La Autora, 2025

Los resultados de los análisis de los consorcios microbianos mostraron resultados relevantes e indicaron que el porcentaje de remoción de diésel va ligada a la dosis de consorcio empleada. El análisis determinó que el tratamiento 5 que estaba conformada con *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg mostro un mayor porcentaje de remoción de TPH en comparación a otros tratamientos, el tratamiento 5 presento una remoción promedio de 96.30%, teniendo una mayor remoción en la repetición 1, el cual contó con un porcentaje de remoción de 96.32%, por otro lado el tratamiento 4 mostro un porcentaje de remoción similar, contando con una remoción promedio de 95.52% y un máximo de 95.66% de remoción en la repetición 1. Y, por último, el tratamiento 6 que fue realizada con *Bacillus pumilus* a una dosis de 5 ml/kg presento una remoción promedio de 85.58%, siendo significativamente menor al porcentaje de remoción de TPH presentados por los otros tratamientos, por lo tanto, se estima que el porcentaje de gasolina va ligada a la dosis empleada de los distintos tipos de consorcios microbianos, por lo tanto, a mayor dosis habrá una mayor remoción de gasolina presente en el suelo.

Una vez tratado las diferentes muestras de suelo se midieron los parámetros fisicoquímicos de estas con el fin de analizar estadísticamente los resultados. En el Anexo N° 14 se presentan los valores de conductividad eléctrica, materia orgánica, potencial de hidrogeno, temperatura y concentración final de TPH de cada uno de los suelos remediados con los diferentes tratamientos y sus repeticiones.

Con ayuda del software estadístico Infostat se realizaron las pruebas de normalidad Shapiro-Wilks para cada una de las variables estudiadas. En la Tabla 5 se muestran los resultados.

Tabla 5.
Resultados de la prueba de normalidad para cada una de las variables en estudio

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Conductividad eléctrica	20	3074,9	376,16	0,9	0,0937
Potencial de Hidrogeno	20	7,13	0,61	0,92	0,2638
Materia Orgánica	20	45,17	9,29	0,96	0,7073
Concentración final TPH	20	64,36	26,75	0,86	0,0135
Temperatura	20	25,16	0,23	0,93	0,3421

Elaborado por: La Autora, 2025

Como se muestra en la tabla previa los datos de las variables conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, materia orgánica y temperatura siguen una distribución normal debido a que su valor p es mayor 0,05. En el caso de los datos de concentración final de TPH, el valor p de la prueba resulta menor a 0,05, es decir, son una excepción y estos no poseen una distribución normal. Debido a lo antes mencionado para las variables que presentan normalidad en sus datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) donde se determinó que existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos empleados, a excepción de la temperatura la cual no mostró diferencias en sus datos.

Por otra parte, para la variable de concentración final de TPH se utilizó una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a su distribución no normal en sus datos. Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Resultado de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para la concentración final de TPH

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Concentración final TPH	T1	2	84,89	0,96	84,89	18,86	0,0264
Concentración final TPH	T10	2	55,65	0,14	55,65		
Concentración final TPH	T2	2	50,72	0,57	50,72		
Concentración final TPH	T3	2	40,3	0,4	40,3		
Concentración final TPH	T4	2	30,99	1,38	30,99		
Concentración final TPH	T5	2	25,61	0,19	25,61		
Concentración final TPH	T6	2	99,68	0,18	99,68		
Concentración final TPH	T7	2	98,23	1,24	98,23		
Concentración final TPH	T8	2	86,05	0,52	86,05		
Concentración final TPH	T9	2	71,5	1,34	71,5		

Elaborado por: La Autora, 2025

La prueba Kruskal-Wallis muestra un valor p menor al estadístico de prueba (0,05) lo que indica que existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos respecto a la concentración final de TPH en los suelos remediados en el presente estudio.

A continuación, se plantea una prueba estadística de tukey al 5% para los diferentes tratamientos realizados al suelo respecto a la conductividad eléctrica, materia orgánica, potencial de hidrogeno (pH) y temperatura, excepto la concentración final de TPH que debido a su distribución no normal se realizó una prueba post-hoc de Dunn, a fin de determinar las diferencias significativas, los resultados se detallan a continuación:

Tabla 7.

Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la conductividad eléctrica

Tratamientos	N	Media ($\mu\text{S/cm}$)	Agrupación
T5. <i>Trichoderma sp</i> 60ml/kg	2	3884.00	A
T4. <i>Trichoderma sp</i> 40ml/kg	2	3536.00	B
T3. <i>Trichoderma sp</i> 30ml/kg	2	3203.00	C
T10. <i>Bacillus pumilus</i> 30ml/kg	2	3002.00	C D
T9. <i>Bacillus pumilus</i> 20ml/kg	2	2960.50	D
T8. <i>Bacillus pumilus</i> 15ml/kg	2	2939.00	D
T2. <i>Trichoderma sp</i> 20ml/kg	2	2902.50	D
T6. <i>Bacillus pumilus</i> 5ml/kg	2	2888.50	D
T7. <i>Bacillus pumilus</i> 10ml/kg	2	2846.50	D
T1. <i>Trichoderma sp</i> 10ml/kg	2	2587.00	E

Elaborado por: La Autora, 2025

De acuerdo a los datos arrojados por el programa minitab con respecto a la prueba tukey al 5% en el parámetro de conductividad eléctrica, se determinó que existen diferencias significativas en el tratamiento 1 (*Trichoderma sp* 10ml/kg), tratamiento 3 (*Trichoderma sp* 30ml/kg), tratamiento 4 (*Trichoderma sp* 40ml/kg), tratamiento 5 (*Trichoderma sp* 60ml/kg) y tratamiento 10 (*Bacillus pumilus* 30ml/kg), esto quiere decir que con respecto a las medias en dichos tratamientos se obtuvieron concentraciones muy diferentes que varían significativamente, se estima que la diferencia es debido a la dosis empleada de consorcio microbiano, debido a que dosis por encima de los 30 ml/kg presentaron diferencias en la cantidad de sales lo repercutiría en una variabilidad en la conductividad eléctrica, por otro lado, en el tratamiento 2 (*Trichoderma sp* 20ml/kg), tratamiento 6 (*Bacillus pumilus* 5ml/kg), tratamiento 7 (*Bacillus pumilus* 10ml/kg), tratamiento 8 (*Bacillus pumilus* 15ml/kg) y tratamiento 9 (*Bacillus pumilus* 20ml/kg), las medias de dichos

tratamientos no presentaron diferencias significativas, lo cual indica que son similares a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 8.

Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la materia orgánica

Tratamientos	N	Media (%)	Agrupación
T1. <i>Trichoderma sp</i> 10ml/kg	2	60.80	A
T6. <i>Bacillus pumilus</i> 5ml/kg	2	57.20	B
T7. <i>Bacillus pumilus</i> 10ml/kg	2	50.65	C
T8. <i>Bacillus pumilus</i> 15ml/kg	2	48.95	C
T9. <i>Bacillus pumilus</i> 20ml/kg	2	46.00	D
T10. <i>Bacillus pumilus</i> 30ml/kg	2	40.90	E
T2. <i>Trichoderma sp</i> 20ml/kg	2	40.60	E
T3. <i>Trichoderma sp</i> 30ml/kg	2	39.35	E
T4. <i>Trichoderma sp</i> 40ml/kg	2	36.10	F
T5. <i>Trichoderma sp</i> 60ml/kg	2	31.10	G

Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto al parámetro de materia orgánica, la prueba estadística tukey al 5% (ver tabla 8), determinó que existen diferencias significativas con respecto a las medias en el tratamiento 1 (*Trichoderma sp* 10ml/kg), tratamiento 4 (*Trichoderma sp* 40ml/kg), tratamiento 5 (*Trichoderma sp* 60ml/kg), tratamiento 6 (*Bacillus pumilus* 5ml/kg), tratamiento 7 (*Bacillus pumilus* 10ml/kg), tratamiento 9 (*Bacillus pumilus* 20ml/kg), sin embargo, se reportaron similitudes en el tratamiento 7 (*Bacillus pumilus* 10ml/kg) y tratamiento 8 (*Bacillus pumilus* 15ml/kg) con medias de 50.65% y 48.95% respectivamente y por último, se registraron similitudes en las medias en el tratamiento 2 (*Trichoderma sp* 20ml/kg), tratamiento 3 (*Trichoderma sp* 30ml/kg) y tratamiento 10 (*Bacillus pumilus* 30ml/kg) contando con medias de 40.60%, 39.35% y 40.90%, lo cual indica que son relativamente similares a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 9.

Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la temperatura

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6. <i>Bacillus pumilus</i> 5ml/kg	2	25.45	A

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T7. <i>Bacillus pumilus</i> 10ml/kg	2	25.35	A
T5. <i>Trichoderma sp</i> 60ml/kg	2	25.15	A
T1. <i>Trichoderma sp</i> 10ml/kg	2	25.15	A
T3. <i>Trichoderma sp</i> 30ml/kg	2	25.10	A
T2. <i>Trichoderma sp</i> 20ml/kg	2	25.05	A
T10. <i>Bacillus pumilus</i> 30ml/kg	2	25.05	A
T9. <i>Bacillus pumilus</i> 20ml/kg	2	25.00	A
T8. <i>Bacillus pumilus</i> 15ml/kg	2	25.00	A
T4. <i>Trichoderma sp</i> 40ml/kg	2	25.00	A

Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto al parámetro de temperatura (ver tabla 9) analizado en los diferentes tratamientos con consorcios microbianos, determino que no existen diferencias significativas en las medias de los tratamientos debido a que la media de temperatura se encuentra en una escala de 25 °C a 25.45 °C, por lo tanto, son similares a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 10.

Resultados del estadístico Tukey al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto al potencial de hidrogeno

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T3. <i>Trichoderma sp</i> 30ml/kg	2	7.95	A
T2. <i>Trichoderma sp</i> 20ml/kg	2	7.90	A
T7. <i>Bacillus pumilus</i> 10ml/kg	2	7.50	A B
T6. <i>Bacillus pumilus</i> 5ml/kg	2	7.45	A B
T1. <i>Trichoderma sp</i> 10ml/kg	2	7.30	A B C
T8. <i>Bacillus pumilus</i> 15ml/kg	2	7.00	B C
T10. <i>Bacillus pumilus</i> 30ml/kg	2	6.70	C D
T9. <i>Bacillus pumilus</i> 20ml/kg	2	6.65	C D
T4. <i>Trichoderma sp</i> 40ml/kg	2	6.60	C D
T5. <i>Trichoderma sp</i> 60ml/kg	2	6.25	D

Elaborado por: La Autora, 2025

Por otro lado, tabla 10 indica las variaciones de las medias mediante la prueba de tukey al 5%, los resultados determinaron que con respecto al parámetro de potencial de hidrogeno (pH), se presentaron diferencias significativas en las medias del tratamiento 1 (*Trichoderma sp* 10ml/kg), tratamiento 5 (*Trichoderma sp*

60ml/kg) y tratamiento 8 (*Bacillus pumilus* 15ml/kg), con sus valores de 7.30%, 6.25% y 7.00%, las cual nos muestra que tienen un nivel de confianza de 95%.

Tabla 11.

Resultados del estadístico Dunn al 5% para los tratamientos con microorganismos respecto a la concentración final de TPH

Tratamientos	N	Ranks	Agrupación
T5. <i>Trichoderma sp</i> 60ml/kg	2	1,5	A
T4. <i>Trichoderma sp</i> 40ml/kg	2	3,5	A B
T3. <i>Trichoderma sp</i> 30ml/kg	2	5,5	A B C
T2. <i>Trichoderma sp</i> 20ml/kg	2	7,5	A B C D
T10. <i>Bacillus pumilus</i> 30ml/kg	2	9,5	A B C D
T9. <i>Bacillus pumilus</i> 20ml/kg	2	11,5	A B C D
T1. <i>Trichoderma sp</i> 10ml/kg	2	13,5	B C D E
T8. <i>Bacillus pumilus</i> 15ml/kg	2	15,5	C D E
T7. <i>Bacillus pumilus</i> 10ml/kg	2	17,5	D E
T6. <i>Bacillus pumilus</i> 5ml/kg	2	19,5	E

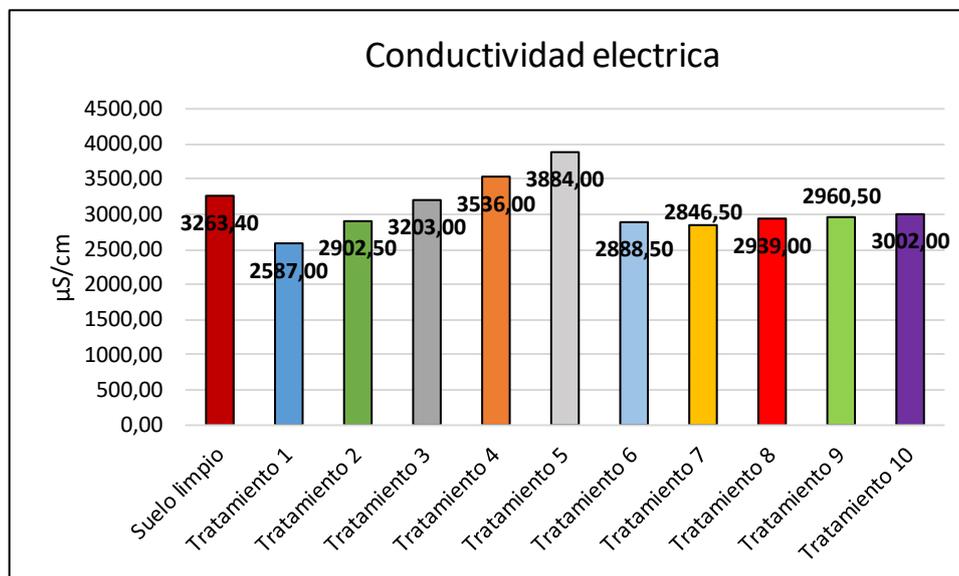
Elaborado por: La Autora, 2025

Finalmente, la tabla 11 muestra el resultado de la prueba de Dunn al 5%, la cual hace referencia al parámetro de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), se presentaron similitudes en los tratamientos 1,3,4,8,7 y 10. Los tratamientos 5 (*Trichoderma sp* 60ml/kg) y 6 (*Bacillus pumilus* 5ml/kg) presentan una diferencia estadística significativa con los demás tratamientos, siendo T5 el más efectivo de todos y el T6 el menos efectivo. La prueba muestra que el tratamiento 5 tiene el rango promedio más bajo y en Kruskal-Wallis, menor rango significa menor valor en la concentración final de TPH en el suelo remediado.

Posterior al análisis estadístico Tukey y Dunn, se procedió a realizar una comparación de los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos con *Trichoderma sp* y *Bacillus pumilus*, estas fueron comparadas con la muestra de suelo limpio, dicha comparación se detalla a continuación:

Figura 6.

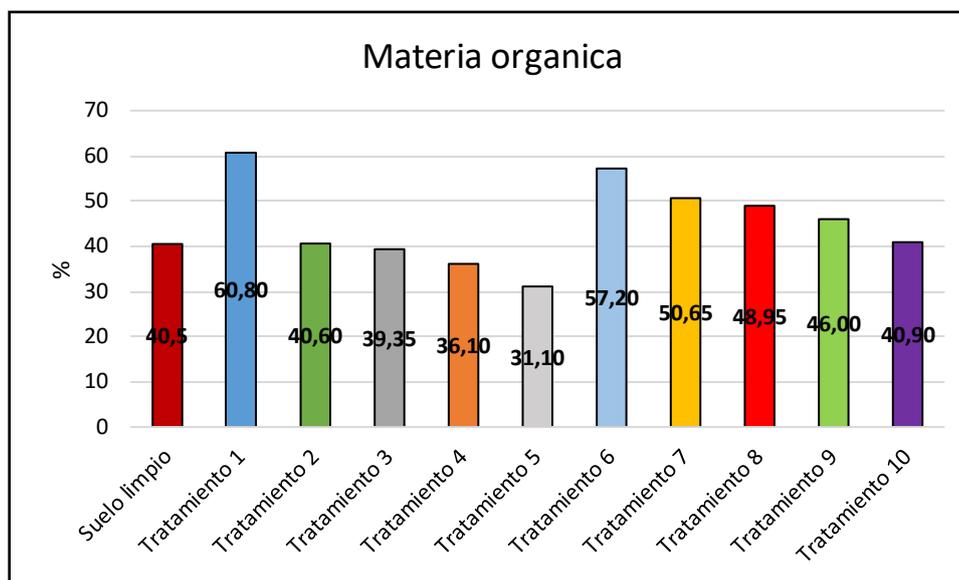
Comparación de la conductividad eléctrica del suelo tratado y el suelo limpio



Elaborado por: La Autora, 2025

De acuerdo con la figura 6, se puede apreciar que el parámetro de conductividad eléctrica varía significativamente a la dosis empleada de cepas bacterianas, esto se debe a la presencia de sales minerales, mediante las cuales están compuestas las cepas bacterianas. El tratamiento 4 (*Trichoderma sp* 40ml/kg) y tratamiento 5 (*Trichoderma sp* 60ml/kg) presentaron una conductividad eléctrica relativamente alta, teniendo conductividades de 3536.00 y 3884 µS/cm, muy similar a la conductividad eléctrica de la muestra de suelo limpio que presentó una conductividad eléctrica de 3263.40 µS/cm. Sin embargo, el tratamiento 1 (*Trichoderma sp* 10ml/kg) y el tratamiento 6 (*Bacillus pumilus* 5ml/kg) presentaron un bajo nivel de conductividad eléctrica, siendo relativamente menor a la muestra de suelo limpio, esto indica que la dosis de cepa bacteriana incide en gran medida en los niveles de este parámetro.

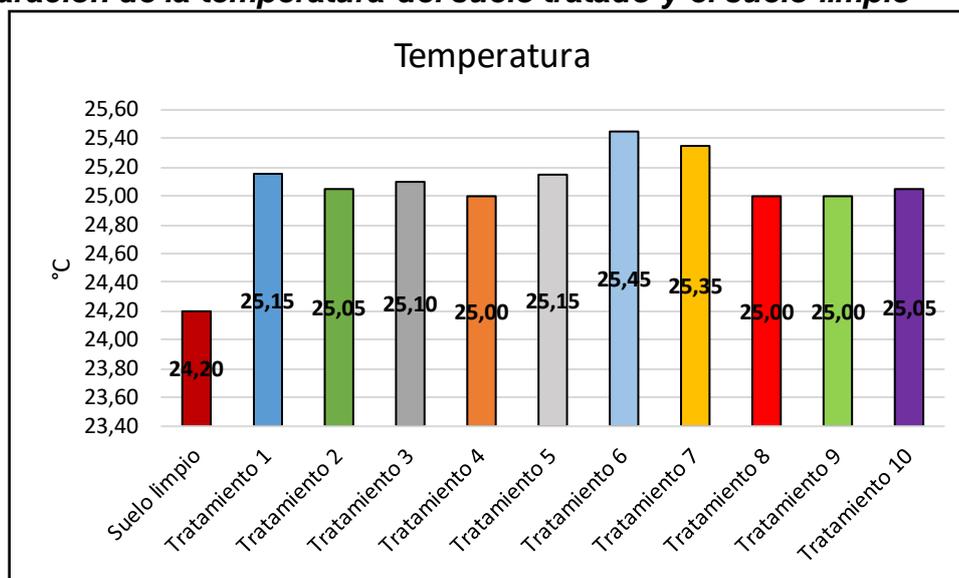
Figura 7.

Comparación de la materia orgánica del suelo tratado y el suelo limpio

Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto a la materia orgánica, en la figura 7 se pudo evidenciar los tratamientos con *Trichoderma sp* y *Bacillus pumilus* con cepas bacterianas redujeron los niveles de materia orgánica (%) del suelo contaminado a causa de la presencia de hidrocarburos. El tratamiento 4 (*Trichoderma sp* 40ml/kg) y tratamiento 5 (*Trichoderma sp* 60ml/kg) presentaron porcentajes de materia orgánica relativamente bajos, siendo de 36.10% y 31.10%, esta reducción va ligada a la cantidad de bacterias empleadas, ya que se pudo constatar que a mayor dosis se reducirán mayores niveles de hidrocarburos y con ello se reducen los niveles de materia orgánica y esto debe a que las bacterias solubilizaron los fosfatos a través de la producción de ácidos orgánicos. Mientras que el tratamiento 1 (*Trichoderma sp* 10ml/kg) y el tratamiento 6 (*Bacillus pumilus* 5ml/kg) presentaron porcentajes altos de materia orgánica, debido a que la dosis de bacterias no era la adecuada para reducir los niveles de hidrocarburos.

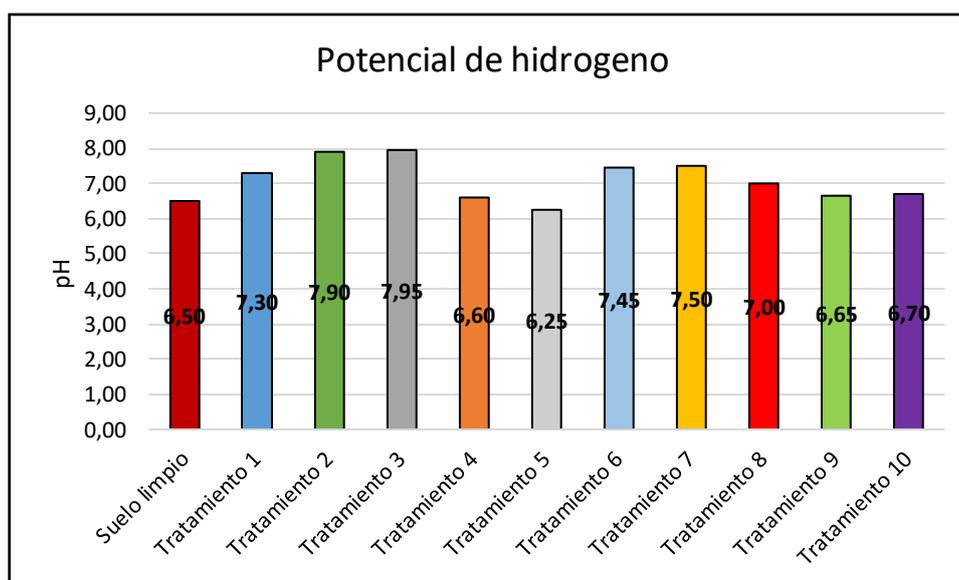
Figura 8.

Comparación de la temperatura del suelo tratado y el suelo limpio

Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto a la temperatura, los tratamientos presentaron ligeras diferencias entre sí, manteniendo una temperatura que está en un rango de 25°C y 25.45°C, mientras que la muestra de suelo limpio presentó una temperatura de 24.20°C, siendo la más baja con respecto a la temperatura de los tratamientos.

Figura 9.

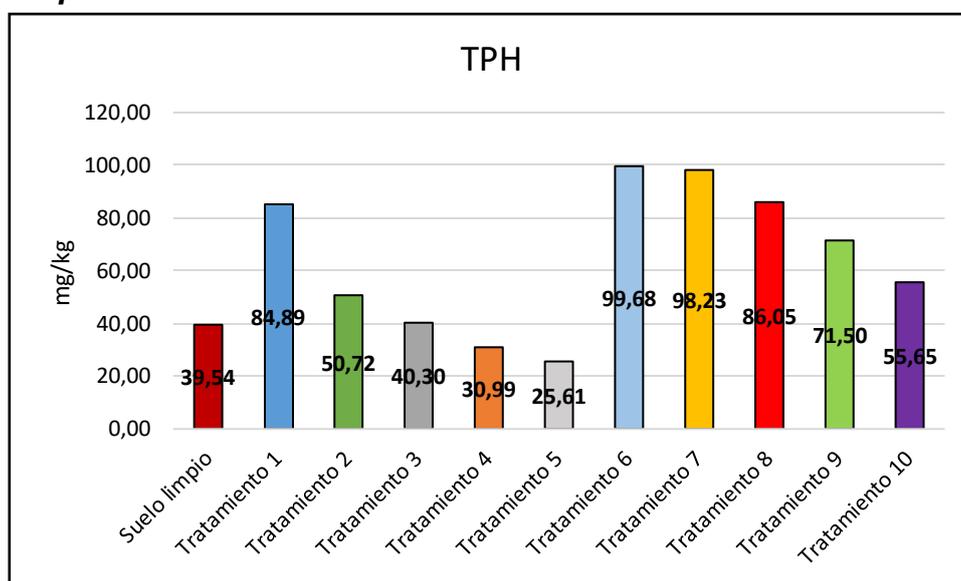
Comparación del potencial de hidrogeno del suelo tratado y el suelo limpio

Elaborado por: La Autora, 2025

De acuerdo con la figura 9, el parámetro de potencial de hidrogeno en los diferentes tratamientos mostraron ligeras diferencias, el tratamiento 2 (*Trichoderma sp* 20ml/kg) y tratamiento 7 (*Bacillus pumilus* 10ml/kg) presentaron un pH de 7.90 y 7.50 respectivamente, determinando que son ligeramente mayor a los otros tratamientos. Por lo tanto, se estima que los diferentes tratamientos y la muestra de suelo limpio no presentan diferencias significativas en cuanto al parámetro de pH, y esto es debido a que las bacterias como *Trichoderma sp* y *Bacillus pumilus* empleadas en el proceso de remediación del suelo normalizaron los niveles de acidez y alcalinidad de las muestras de suelo contaminadas.

Figura 10.

Comparación de hidrocarburos totales de petróleo del suelo tratado y el suelo limpio



Elaborado por: La Autora, 2025

Finalmente, con respecto al parámetro de TPH (hidrocarburos totales de petróleo) los niveles varían de acuerdo con la dosis empleada de consorcio microbiano, cabe destacar que los tratamientos con menor proporción de TPH son aquellos tratamientos que se consideraron como los más eficaces en la reducción de hidrocarburos de las muestras de suelo contaminado. El tratamiento 5 con *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg presento 25.65 mg/kg de TPH, esta concentración representa una eficiencia de 96.30%, siendo considerado este tratamiento como el más eficiente en la reducción de hidrocarburos, seguido del tratamiento 4 con *Trichoderma sp* a una dosis de 40 ml/kg presento 30.99 mg/kg de TPH representando una eficiencia de 95.52%. Por otra parte, el tratamiento 6

con *Bacillus pumilus*, a una dosis de 5 ml/kg presento una eficiencia de 85.58%, siendo catalogada como la menos eficiente con respecto a los otros tratamientos, por lo tanto, se estima que los niveles de hidrocarburos presentes en el suelo varían de acuerdo con la dosis empleada y el consorcio microbiano.

A continuación, se presenta la Tabla 12 con las concentraciones iniciales de contaminante en el suelo y el remanente luego de aplicar el tratamiento más eficiente (T5) para las pruebas estadísticas t-student. Se comparó la concentración inicial del contaminante con la concentración final en el suelo remediado con el fin de determinar una diferencia significativa entre ambos valores. En la Tabla 13 se muestran los resultados de la prueba t-student.

Tabla 12.
Comparación de la concentración de TPH del suelo contaminado y suelo tratado

Concentración de TPH (mg/kg)	
Suelo contaminado	Suelo remediado con T5
691,23	25,61

Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 13.
Resultados de la prueba t-student unilateral derecha entre la concentración inicial del contaminante y la concentración final

Variable	n	Media	DE	LI (95)	T	p (Unilateral D)
Concentración inicial TPH	10	691,23	15,88	620,33	59,26	0,0054

Dado que el valor p (0.0054) es menor que la significancia y el estadístico t (59.24) supera con creces el valor crítico (6.314) rechazamos la hipótesis nula, es decir, la media de la concentración inicial del contaminante es significativamente mayor a la concentración en el suelo tratado.

En la Tabla 14 se muestran la concentración final del contaminante luego de aplicarle el tratamiento 5 y el límite máximo permitido por la norma. Finalmente se comparó la concentración remanente del contaminante en el suelo con el límite permitido mediante un prueba t-student unilateral derecha para determinar si existe una diferencia entre estos. Los resultados de la prueba realizada se muestran en la Tabla 15.

Tabla 14.
Comparación de la concentración de TPH del suelo remediado con el tratamiento 5 y Límite Máximo Permisible

Concentración de TPH (mg/kg)	
Suelo remediado con T5	Límite Máximo Permisible
25,61	620

Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 15.
Resultados de la prueba t-student unilateral derecha entre la concentración final del contaminante y el Límite Máximo Permisible

Variable	n	Media	DE	LI (95)	T	p (Unilateral D)
Concentración final TPH	2	25,61	0,19	24,75	-4402,93	0,9999

Elaborado por: La Autora, 2025

Como el estadístico t es mucho menor que el valor crítico y está en la dirección opuesta a la hipótesis alternativa (esperábamos que fuera mayor, pero fue menor), no se rechaza la hipótesis nula. No hay evidencia de que la media sea mayor que 620. De hecho, es muchísimo menor. Indicando así que no se supera el Límite Máximo Permisible.

4.3 Proponer que tratamiento es más efectivo para recuperar el suelo degradado por TPH

En base a los resultados obtenidos en los objetivos previos se puede plantear el tratamiento más eficaz con el tipo de microorganismo a usar, su dosis y estimar el porcentaje de remoción de hidrocarburo en un suelo contaminado.

El consorcio microbiano más eficiente en la remoción de hidrocarburos fue el *Trichoderma sp* en una dosis de 60 ml/kg (Tratamiento 5) seguido por el tratamiento 4, el cual usa el mismo consorcio bacteriano, pero en una dosis más baja (40 ml/kg). Debido a lo antes mencionado se presentan dos propuestas para recuperar un suelo degradado por hidrocarburos.

Tabla 16.**Propuesta 1 de remediación con *Trichoderma sp*****Propuesta 1**

Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos mediante la aplicación de *Trichoderma sp*

Justificación

Dentro del presente estudio las pruebas realizadas en suelos contaminados con hidrocarburos mostraron que un tratamiento con 60 ml/kg de *Trichoderma sp* (Tratamiento 5) reducen los TPH en un 96.32%. Su capacidad para producir enzimas extracelulares (como lacasas y peroxidasas) le permite romper estructuras hidrocarbonadas complejas, facilitando su degradación y reduciendo la toxicidad del suelo. Esta bacteria es conocida por mejorar la salud del suelo al promover la solubilización de nutrientes, estabilizar el pH y aumentar el contenido de materia orgánica. Entonces no solo reduce los hidrocarburos, sino que regenera ecológicamente el suelo afectado, promoviendo condiciones óptimas para la recuperación del microbiota nativo y la vegetación. Estos tratamientos resultan ser amigables con el ambiente debido a que preservan la estructura y fertilidad del suelo, reducen el riesgo toxicológico y promueven constantemente la resiliencia ecológica del mismo.

Objetivo

Reducir la concentración de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en suelos contaminados mediante la aplicación controlada de *Trichoderma sp*.

Dosis

60 ml / kg de suelo contaminado

Aplicación

Se utiliza *Trichoderma sp* debido a su capacidad para descomponer compuestos orgánicos complejos. La adición se realizará mediante una aplicación directa y controlada para asegurar una distribución uniforme de los microorganismos. El suelo contaminado debe ser recolectado y mezclado para homogeneizarlo.

Ventajas

- ✓ Gran eficiencia en la remoción de contaminante hidrocarburífero del suelo sin uso de químicos agresivos que degraden las demás propiedades del suelo

-
- ✓ Se mantiene la fertilidad del suelo luego del tratamiento para un posterior uso agrícola o forestal
 - ✓ Comparado con otros métodos de remediación, esta es una técnica natural y económica

Beneficios ambientales

- ✓ Reduce el riesgo toxicológico en suelos contaminados por hidrocarburos
 - ✓ Disminuye el riesgo de que exista lixiviación de hidrocarburos contaminando aguas subterráneas
-

Elaborado por: La Autora, 2025

La propuesta antes mencionada puede ser utilizada para una alta remoción de contaminante, sin embargo, otro tratamiento dio resultados similares con una dosis más baja de consorcio microbiano, solo 40 ml/kg de suelo contaminado.

Tabla 17.

Propuesta 2 de remediación con Trichoderma sp

Propuesta 2

Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos mediante la aplicación de *Trichoderma sp*

Justificación

Dentro del presente estudio las pruebas realizadas en suelos contaminados con hidrocarburos mostraron que un tratamiento con 40 ml/kg de *Trichoderma sp* (Tratamiento 4) reducen los TPH en un 95.66%. adicional a ello, los demás parámetros involucrados muestran que los microorganismos utilizados no alteran la calidad del suelo. Esta bacteria produce enzimas que degradan los hidrocarburos y reducen la toxicidad del suelo. Además, ayuda a la salud del suelo solubilizando nutrientes, estabilizando el pH y aumentando la materia orgánica. Estos tratamientos resultan ser amigables con el ambiente debido a que preservan la estructura y fertilidad del suelo, reducen el riesgo toxicológico y promueven contantemente la resiliencia ecológica del mismo.

Objetivo

Reducir la concentración de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en suelos contaminados mediante la aplicación controlada de *Trichoderma sp*.

Dosis

40 ml / kg de suelo contaminado

Aplicación

Se utiliza *Trichoderma Sp* debido a su capacidad para descomponer compuestos orgánicos complejos. La adición se realizará mediante una aplicación directa y controlada para asegurar una distribución uniforme de los microorganismos. El suelo contaminado debe ser recolectado y mezclado para homogeneizarlo.

Ventajas

- ✓ Gran eficiencia en la remoción de contaminante hidrocarbúrico del suelo, muy cercano al tratamiento 5 con el uso de menor cantidad de bacterias
- ✓ La técnica no usa químicos agresivos que degraden las demás propiedades del suelo
- ✓ Se mantiene la fertilidad del suelo luego del tratamiento para un posterior uso agrícola o forestal
- ✓ El tratamiento de suelos contaminados con esta técnica natural resulta económico comparado con otros métodos de remediación

Beneficios ambientales

- ✓ Reduce el riesgo toxicológico en suelos contaminados por hidrocarburos
- ✓ Disminuye el riesgo de que exista lixiviación de hidrocarburos contaminando aguas subterráneas
- ✓ Promueve la restauración natural del suelo contaminado sin intervención mecánica del suelo, lo cual ocasionaría pérdida de propiedades
- ✓ Con el tratamiento de suelos contaminados se reducen los impactos en los seres humanos, animales y vegetación del lugar

Elaborado por: La Autora, 2025

5. Discusión

En la actualidad no existe estudios suficientes que abarquen el tema del diagnóstico de derrames y contaminación de hidrocarburos en las gasolineras de la ciudad de Guayaquil. En el estudio realizado en la gasolinera Terpel de Guayacanes, se encontraron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos de los suelos contaminados en comparación con los suelos limpios. En contraste, el estudio de Astudillo (2021) sobre estaciones de servicio en Guayaquil encontró que estas tienen un promedio de almacenamiento de 36,514 galones de combustible y están equipadas con herramientas adecuadas para prevenir y detectar derrames, utilizando principalmente métodos fisicoquímicos para la remediación. Aunque ambos estudios resaltan la importancia de la gestión adecuada de las gasolineras para prevenir la contaminación, el enfoque en parámetros del suelo en el primer estudio y en medidas de seguridad y remediación en el segundo ofrecen perspectivas complementarias sobre los desafíos ambientales asociados con las estaciones de servicio en la región.

Durante el análisis del parámetro de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en las muestras de suelo, se determinó que el suelo limpio contenía 39.54 mg/kg de TPH, mientras que el suelo contaminado mostró una concentración alarmante de 691.23 mg/kg, atribuido al derrame directo causado por el continuo transporte de combustible en el área de estudio. En el estudio de Contreras (2018) en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo reportó una concentración total de hidrocarburos de 25.987 mg/kg en muestras de suelo contaminado, acompañada de un índice de germinación que indicaba toxicidad severa. La capacidad de este estudio para cuantificar esta contaminación proporciona un marco más claro para evaluar la efectividad de las estrategias de remediación necesarias. En este sentido, aunque ambos estudios abordan la problemática de la contaminación por hidrocarburos, los datos obtenidos en la presente investigación realizada en la gasolinera Terpel de Guayaquil, sugieren una necesidad urgente de intervención y remediación en el área afectada.

Los resultados del presente estudio destacan la importancia de la dosificación precisa del consorcio microbiano en la biorremediación de suelos contaminados con diésel. En particular, se encontró que el tratamiento con *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg logró una eficiencia del 95.52% en la

reducción de hidrocarburos, superando significativamente al tratamiento con *Bacillus pumilus* a una dosis de 5 ml/kg, que alcanzó una eficiencia del 85.58%. Estos hallazgos coinciden con estudios como el de Cruz y Licango (2021) donde reportaron que *Trichoderma sp* logró una remoción del 65.15% de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) a una concentración de 10,000 ppm, mientras que *Bacillus pumilus* alcanzó un 50.68% en condiciones similares. Además, Vásconez (2023), en su estudio determinó que *Trichoderma sp* a una dosis de 1×10^4 L presentó una reducción del 89.38% en la concentración de gasolina en suelos contaminados, lo que sugiere que esta cepa es particularmente efectiva en la degradación de hidrocarburos.

Trichoderma sp a una dosis de 60 ml/kg fue el tratamiento más eficaz para reducir los niveles de hidrocarburos (diésel) en el suelo de la gasolinera Terpel, ubicada en Guayacanes, logrando una eficiencia de biodegradación del 96.30%, lo que se traduce en una concentración final de TPH de 25.61 mg/kg. Este resultado es notablemente superior a los reportados en otros estudios, como el realizado por Morante (2018), donde se evaluó la capacidad del hongo *Trichoderma harzianum* para degradar diésel en un medio artificial, logrando eficiencias de biodegradación de hasta el 88.35% en condiciones óptimas. Morante (2018) observó que la combinación con ozono mejoraba la biodegradación, la presente investigación enfatiza que el uso directo de *Trichoderma sp* a una dosis adecuada puede ser suficiente para lograr resultados significativos sin necesidad de tratamientos adicionales.

El resultado del tratamiento 5 mostró parámetros fisicoquímicos similares a los del suelo limpio. En comparación, un estudio similar realizado por Mata (2019) encontró que el uso de *Pseudomonas putida* logró una eficiencia de biodegradación de hidrocarburos del 85% en condiciones controladas. Aunque este resultado es notable, la presente investigación supera significativamente esta eficiencia, lo que sugiere que *Trichoderma sp* a la dosis mencionada es particularmente efectivo para la remediación de suelos contaminados con diésel. El mismo trabajo reportó cambios significativos en el pH del suelo durante el proceso de biodegradación, el tratamiento 5 de este trabajo investigativo mantuvo un pH de 6.25, similar al del suelo limpio, lo que indica una menor alteración del ecosistema del suelo.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las muestras de suelo recolectadas en la gasolinera Terpel indican que la muestra contaminada con diésel exhibió un aumento en la conductividad eléctrica, alcanzando los 166.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este incremento se atribuye a la pérdida de sales del suelo. Además, se observó un incremento significativo del 90.60% en la materia orgánica, junto con una alta concentración de hidrocarburos totales de petróleo, registrando 691.23 mg/kg de TPH. Por lo tanto, los suelos contaminados por diésel representan un riesgo para la salud humana, especialmente en entornos urbanos cercanos a la gasolinera. La presencia de compuestos químicos nocivos como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y otros hidrocarburos puede afectar adversamente la calidad del aire y del agua en áreas residenciales cercanas. Esto plantea preocupaciones significativas para la salud pública, ya que estos contaminantes pueden ser inhalados por los residentes o pueden filtrarse hacia los sistemas de agua potable locales, aumentando el riesgo de enfermedades respiratorias y otros problemas de salud.

Se determinó que los niveles de degradación de diésel están directamente influenciados por la cantidad de consorcio microbiano aplicado. El tratamiento con *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg (tratamiento 5) mostró una eficiencia significativamente mayor (95.52%) en la reducción de combustible en comparación con el tratamiento 6, que consistió en *Bacillus pumilus* a una dosis de 5 ml/kg y tuvo una eficiencia del 85.58%. Estos resultados subrayan la importancia crítica de la dosificación precisa del consorcio microbiano para lograr una remediación efectiva de contaminantes petrolíferos en el suelo. Además, el análisis estadístico de t-student confirmó que los 10 tratamientos evaluados cumplen con los estándares establecidos por la legislación ambiental en términos de remediación.

Para identificar el tratamiento más eficaz en la disminución de la concentración de diésel en el suelo, se evaluaron los resultados obtenidos en los ensayos. Se concluyó que la aplicación de *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg mostró los mejores resultados en términos de las propiedades fisicoquímicas analizadas, las cuales fueron muy similares a las del suelo sin contaminación. Este microorganismo logró reducir la concentración de gasolina en un 95.52%,

equivalente a 99.68 mg/Kg de THP y una disminución de -665.58 mg/kg. Por lo tanto, se considera que *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg es altamente efectivo para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

6.2 Recomendaciones

Para abordar los riesgos identificados por la contaminación por gasolina en suelos urbanos de Guayaquil, se recomienda implementar un plan de gestión ambiental integral actualizado para conocimiento público. Este plan debe enfocarse en la evaluación periódica de la calidad del suelo y la vigilancia activa de los niveles de contaminación, especialmente de compuestos como BTEX y TPH. Además, es fundamental fortalecer las regulaciones locales para el manejo seguro de residuos peligrosos y las prácticas de operación en las estaciones de servicio, asegurando así la protección de la salud pública y la sostenibilidad ambiental en estas áreas urbanas vulnerables.

Para mejorar la eficacia de la remediación de hidrocarburos en suelos contaminados con gasolina, se sugiere realizar estudios adicionales que investiguen la interacción entre diferentes dosis de consorcios microbianos y su efecto sobre la biodegradación. Es esencial explorar diversas especies microbianas y ajustar las dosificaciones para optimizar la reducción de contaminantes petrolíferos. Además, se aconseja realizar pruebas a largo plazo para evaluar la estabilidad y la persistencia de la actividad biológica bajo diversas condiciones ambientales. Esto permitirá desarrollar estrategias más efectivas y sostenibles para cumplir con los estándares ambientales establecidos.

Para mejorar la eficacia de la biorremediación de suelos contaminados por gasolina utilizando *Trichoderma sp* a una dosis de 60 ml/kg, se sugiere realizar estudios adicionales que investiguen la aplicación combinada con otras estrategias de remediación, como la bioestimulación o la fitorremediación. Además, sería beneficioso evaluar la capacidad de *Trichoderma sp* para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y sustratos de suelo, con el fin de optimizar su rendimiento y garantizar resultados consistentes a largo plazo. Estos estudios podrían proporcionar información crucial para el desarrollo de prácticas de remediación más efectivas y sostenibles en contextos de contaminación por hidrocarburos.

7. Bibliografía

- Acosta, F. (2015). *Guía para la planeación de proyectos de caracterización y de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2015/agosto/0733687/Index.html>
- Acuña, A. (2023). Estudio de biomarcadores del petróleo a partir de la meteorización de un crudo en agua de mar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39(2), 194-200. doi:10.20937/rica.54799
- Aldrete, M. (2019). Identificación y capacidad degradadora de bacterias aisladas de suelos contaminados con hidrocarburos de desechos de Panama. *Revista Colegiada de ciencia*, 1(1), 2. doi:1656151/5151
- Álvarez, J. (2023). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando sustancias húmicas de vermicomposta*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Chapingo: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. doi:10.28940
- Amazon Frontlines. (2019). *Defendiendo el territorio: Impactos Ambientales*. Obtenido de <https://amazonfrontlines.org/es/work/defendiendo-el-territorio/impactos-ambientales/>
- Arteaga, G. (2021). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 115-130. doi:10.22507/rli.v17n1a19
- Astudillo, E. (2021). Diagnóstico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras. *Revista de Investigación y desarrollo*, 7(2), 63-78. doi:10.31095

- ATSDR. (6 de mayo de 2016). *Hidrocarburos totales de petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html
- Auqui, G. (2022). Bacterias fibrolíticas aisladas de rumen de alpaca, ovino y vacuno con capacidad biodegradadora de celulosa. *Revista Científica Serbiluz*, 32(3), 1-7. doi:10.52973/rcfcv-e32094
- Barbosa, E. (2020). *Aislamiento, caracterización y aplicación de consorcios bacterianos hidrocarbonoclastas para la degradación de hidrocarburos totales en suelos contaminados*. Universidad Autónoma de Nueva León. Mexico: Universidad Autónoma de Nueva León. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/13996/1/1080237762.pdf>
- Bastidas, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208. doi:10.15359/
- Cando, M. (2011). *Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. UPS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1520/11/UPS-CT002143.pdf>
- Carvalho, D. (2023). Ensayos ecotoxicológicos empleados en el análisis de muestra acuáticas contaminadas con hidrocarburos. *Revista de Ciencia Animal*, 33(1), 117-127. doi:1451651/1515
- Castillo, D. (2024). Cinética de crecimiento de consorcios microbianos acidófilos en cultivo sumergido para biolixiviantes. *Revista Ecología Aplicada*, 23(1), 95-100. doi:10.21704/rea.v23i1.2169

- Castillo, E. (2022). *Produccion y evaluacion de un biosurfactante para la biorremediacion de suelos contaminados por hidrocarburos*. Universidad Autonoma Metropolitana. Mexico: Universidad Autonoma Metropolitana. doi:10.24275/uama.6738.9061
- Cavada, K. (2022). Biorremediación de metales pesados en México: técnicas y tendencias de uso para aplicación en actividades mineras. *Revista electronica de ciencias biologicas y agropecuarias*, 9(17), 6-17. doi:10.32870/ecucba.vi17.205
- Cavazos, J. (2019). Afectaciones y consencuencias por hidrocarburos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11(4), 539-550. doi:1870-5472
- Chango, A. (2023). *Biorremediacion de suelos contaminados por derrame de gasolina mediante microorganismos*. Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHANGO%20VASCONEZ%20ANTHONY%20DAVID.pdf>
- Chávez, T. (2024). *Contaminación de suelos por hidrocarburos en América Latina: contribuciones al conocimiento, diagnóstico y alternativas de solución*. Informe de investigacion, Mexico. doi:978-607-749-205-4
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Registro Oficial Suplemento 983. Quito, Ecuador. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449. Ecuador. Obtenido de <https://www.cosede.gob.ec/wp->

content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-
ECUADOR.pdf

- Contreras, H. (2018). Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. *Revista Científica UNTRM*, 1(1), 60-70. doi:54646-58464
- Cruz, J., & Licango, J. (2021). *Evaluación del proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo utilizando Trichoderma sp. Y Bacillus pumilus*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19882/1/UPS%20-%20TTS283.pdf>
- Díaz, A. (2022). Aislamiento de microorganismos resistentes a los metales para producción de nanopartículas, provenientes de zonas contaminadas de Guanajuato, México. *Revista de divulgación de la ciencia*, 16(2), 1--14. doi:156164/13132
- Díaz, L. (2020). El manglar frente a los derrames de los hidrocarburos en México. *Revista de la Escuela Jacobea de Posgrado*, 2(18), 63-78. doi:2007-3798
- EP Petroecuador. (2014). *Informe Estadístico*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/INFORME-ESTAD%C3%8DSTICO-2014.pdf>
- FAO. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2019*. FAO. Roma: FAO;. doi:978-92-5-131854-6
- Fitoria, L., & Quiroz, C. (2021). *Estudio del comportamiento cinético de los procesos de degradación de hidrocarburo por la acción de consorcios microbianos in*

- vitro*. Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/4254/1/96158.PDF>
- Flores, L. (2024). Actividad antifúngica y características de promoción de crecimiento vegetal de *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter* sp.degradadoras de hidrocarburo. *Acta Biológica Colombiana*, 27(3), 123-130. doi:10.15446/abc.v27n3.92758
- Franzetti, A. (2022). Tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo mediante la combinación de electro-Fenton y proceso de biosuspensión asistido por biosurfactante. *Chemosphere*, 318(15), 330-350. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.138013.
- Garcia, M. (2021). Evaluación de la actividad degradadora de microorganismos en biorreactores: factores que afectan la biodegradación de hidrocarburos. *Revista Internacional de Biotecnología y Bioingeniería*, 5(3), 45-60. doi:156542.155
- Garcia, M. (2024). Sobresalientes Potencialidades de las Bacterias del Género *Bacillus* para el Biocontrol de Fitopatógenos y para Biorremediación: Outstanding Potential of *Bacillus* Genus Bacteria for Phytopathogen Biocontrol and Bioremediation. *Revista de red nacional de cuerpos academicos*, 9(1), 36-55. doi:10.57737/cn4jbm50
- Hoyos, P. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. doi:10.1016/j.ram.2023.06.005

- INEC. (2022). Censo 2022 población y vivienda. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias_censo_2010.pdf
- Jaramillo, B. (2023). Contaminación por hidrocarburos aromaticos policiclicos en sedimentos y especies marinas: revisión. *Revista de Ciencia en Desarrollo*, 14(2), 125-136. doi:10.19053/01217488.v14.n2.2023.14760
- Jaramillo, P., & Gálvez, R. (2009). *Análisis del proceso constitucional ambiental en el Ecuador*. Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8652/1/Utpl_Jaramillo_Encalada_Pablo_344x197.pdf
- Jimenez, V. (2020). *Evaluacion de bacterias y hongos potencialmente utilizables para la biorremediacion de suelos contaminados por hidrocarburos*. Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ%20VELEZ%20VILMA%20CECIBEL.pdf>
- Leon, A. (2024). *Las sombras de los hidrocarburos*. Informe de investigacion, Lima. doi:2024-05333
- Licango, J. (2021). *Evaluación del proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo utilizando Trichoderma sp. Y Bacillus pumilus*. Tesis de grado, Universidad Politecnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19882/1/UPS%20-%20TTS283.pdf>

- López, J. (2020). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Revista NOVA*, 4(5), 82-90. doi:10.22490/24629448.351
- Lozano, R. (2022). Aislamiento y caracterización de bacterias endémicas colombianas con capacidad de degradar tolueno. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 24(1). doi:10.15446/rev.colomb.biote.v24n1.98613
- Mantilla, D. (2021). Técnica de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso. *Revista de suelos Ecuatoriales*, 51(2), 107-118. doi: 10.47864/SE
- Marín, T. (2024). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Latinoamérica: revisión entre 2010-2023. *Revista de Estudios Ambientales*, 12(1), 27-43. doi: 2347-0941
- Márquez, F. (2024). *Biodegradación del gasóleo en el suelo mediante un consorcio microbiano*. Informe de investigación y desarrollo, Mexico. doi:10.1023/A:1010392821353
- Mata, A. (2019). *Biorremediación de suelos contaminados con 100,000 PPM de gasolina por Bioestimulación con extracto fungico*. Universidad Michoacana de San Nicolás. Mexico: Congreso Estatal de Ciencia, tecnología e innovación. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/321904754_Biorremediacion_de_suelo_contaminado_con_100000_ppm_de_gasolina_por_bioestimulacion_con_extracto_fungico_lombricomposta_y_fitorremediacion_conZea_mays_y_Azotobacter_vinelandii

- Morales, G. (2020). Efecto de bacterias emulsificantes en la atenuación de la fitotoxicidad de suelos contaminados con petróleo intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 692-703. doi:10.15517/rbt.v68i2.39327
- Morales, M. (2019). Biorremediación mejorada con preoxidación química de suelos arcillosos contaminados con petróleo. *Revista Emerging Trends in Education*, 5(15), 1-6. doi:2737-6095
- Morante, L. (2018). *Bacterias degradadoras de hidrocarburos a partir de suelos contaminados en el canton Quevedo*. Tesis doctoral, Universidad Estatal de Quevedo, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3403515e-4675-4ec3-b610-e71f8fbe6a26/content>
- Naranjo, L. (2022). Biodiversidad y potencial hidrocarbonoclástico de hongos aislados de crudo y sus derivados. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 3(1), 1-40. doi: 2007-2570
- Ojeada, M. (2023). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando sustancias húmicas de vermicomposta. *Revista Terra Latinoamericana*, 41(3), 1-18. doi:10.28940/terra.v41i0.1656
- Pandey. (2023). La fitorremediación como solución eficaz para eliminar oligoelementos de los ecosistemas. *Revista Plants*, 7(2), 50-65. doi:10.1016/B978-0-12-813912-7.00002-8
- Parillo, E. (2024). Análisis de la Técnica de la Adición de la Urea en la Remediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos de la Ciudad de Juliaca–2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 6990-7010. doi:10.37811/cl_rcm.v8i1.10055

- Peña, S. (2019). Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, 2(3), 226-236. doi:515454/4151
- Petit, K., Colina, J., Yegres, F., & Moran, H. (2013). Biodegradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) por hongos aislados de aguas contaminadas con petróleo, podredumbre blanca, y acíbar de Aloe vera. *Química Viva*, 12(3), 288-304. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278009.pdf>
- Prieto, O. (2024). Beneficios de las micorrizas arbusculares en técnicas de fitorremediación para descontaminación de suelos en Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(1), 187-202. doi:10.59169/pentaciencias.v6i1.980
- Rabelo, R. (2022). Bacterias Gram negativas biodegradadoras de hidrocarburos. *Revista de Ciencias*, 24(2), 102-120. doi:10.25100/rc.v24i2.9935
- Rachida, R. (2023). Mejora de la actividad bacteriana para la descontaminación de suelos contaminados por gasóleo. *Artículo de investigación*, 42(6), 1-13. doi:1021-9986/2023
- Reforma Texto Unificado Legislacion Secundaria, Medio Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097. Ecuador: Registro Oficial Suplemento 270. Obtenido de <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>
- Reglamento al codigo organico del ambiente. (2019). Decreto Ejecutivo 752. Ecuador: Registro Oficial Suplemento 507. Obtenido de

<https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>

- Rivera, M. (2019). *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) y bacterias terrestres asociadas medio siglo después de la contaminación crónica por hidrocarburos. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 56-60. doi:10.15517/rbt.v67i6.35861
- Rodríguez, A., Zárate, S., & Bastida, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 120-135. doi:10.15359/rca.56/1.9
- Rodríguez, M. (2022). Riesgo ambiental por contaminación de hidrocarburos en la comunidad de Corapa, distrito Pusi Puno. *Revista de Investigaciones*, 11(3), 177-192. doi:10.26788/ri.v11i3.3601
- Rosero, L. (2022). *Análisis de las implicaciones socio-ambientales por el rompimiento del oleoducto en el año 2020, en la provincia de Napo*. Tesis de grado, Universidad Católica del Ecuador, Napo. Obtenido de <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/edb94849-4078-42da-aa4a-0ced9667dcc0/content>
- Sandoval, E. (2019). Hidrocarburos: contaminación en el Caribe mexicano. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1-11. doi:10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a5
- Torres, F. (2023). *Efectos de la contaminación por hidrocarburos con respecto a la calidad del suelo y agua subterránea en una estación de servicio en la ciudad de Guayaquil para la propuesta de medidas de mitigación y control*. Espol. Guayaquil: Espol. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57452>

- Vergara, L. (2023). *Contaminación del suelo con hidrocarburos de petróleo en los centros de atención automotriz*. Universidad Continental. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13438/3/IV_FIN_107_TE_Vergara_Salas_2023.pdf
- Vizuete, R. (2020). Biorremediación de suelo contaminado. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1), 15-25. doi:1794-4449
- Zabala, R., Espinoza, K., Herrera, G., & Manzano, D. (2023). Estudio de la Contaminación de Suelos por Hidrocarburos en la Comunidad Virgen del Carmen y Propuesta de Remediación mediante Bioventing. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 222-244. doi:10.23857/pc.v8i6
- Zamora. (2020). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro*, 24(1), 5-12. doi:1316-3361

8. Anexos

Anexo N° 1

Mapa de Ubicación



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 2

Tabla de industrias que Generan contaminación de suelos con hidrocarburos

Tipo de Industria	Principales contaminantes del Suelo
Industria Petrolera	Hidrocarburo aromático y alifático
Fábrica de Gas	Alquitrán, benceno fenoles, hidrocarburos aromáticos
Estaciones de servicio	Hidrocarburos y derivados del petróleo
Centrales Termoeléctricas	Hidrocarburos, derivados del petróleo y metales pesados
Minería	Hidrocarburos aromáticos, metales pesados, cianuro.
Lavadoras de Vehículo	Hidrocarburos
Mecánicas Automotrices	Aceites, hidrocarburos

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 3

Factura emitida por el laboratorio acreditado donde se evaluaron los parámetros físico-químicos del suelo en estudio

		R.U.C.: 0992216964001 FACTURA No. 001-001-000132130 NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 1303202301099221696400120010010001321300013213019 AMBIENTE: Producción EMISIÓN: Normal CLAVE DE ACCESO:  1303202301099221696400120010010001321300013213019																					
ELICROM CIA. LTDA. Dir. Matriz: Cooperativa de Vivienda Guayaquil Manzana 21 Calle Primera Solar 10 Contribuyente Especial Número: 182 Obligado a llevar contabilidad: SI																							
Razón Social / Nombres y Apellidos: María Isabel Salazar Quichimbo Fecha Emisión: 15/03/2024		Identificación: 0202371050 Guía Remisión:																					
Cod. Principal	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total																		
SUELO-02	ANALISIS DE SUELO CONTAMINADO POR DIESEL	2.00	81.50	0.00	163.00																		
Información Adicional:																							
Dirección: Saucos 1 mzf34 v21 Ciudad: Guayaquil Teléfono: 0994973383 Vendedor: DELGADO DAYANA Observación: COTIZ0066 DEL 23 ORDEN0409 DEL 23BIORE.SUELO CONTAMINADOS POR DIESEL. Pedido: 001-001-000104201 Email: mabelusalazar5@gmail.com																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: right;">SUBTOTAL 0%</td><td style="text-align: right;">0.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">SUBTOTAL 12%</td><td style="text-align: right;">163.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">SUBTOTAL No sujeto de IVA</td><td style="text-align: right;">00.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</td><td style="text-align: right;">163.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">DESCUENTO</td><td style="text-align: right;">0.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">ICE</td><td style="text-align: right;">0.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">IVA 12%</td><td style="text-align: right;">19.56</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">PROPINA</td><td style="text-align: right;">0.00</td></tr> <tr><td style="text-align: right;">TOTAL</td><td style="text-align: right;">182.56</td></tr> </table>						SUBTOTAL 0%	0.00	SUBTOTAL 12%	163.00	SUBTOTAL No sujeto de IVA	00.00	SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	163.00	DESCUENTO	0.00	ICE	0.00	IVA 12%	19.56	PROPINA	0.00	TOTAL	182.56
SUBTOTAL 0%	0.00																						
SUBTOTAL 12%	163.00																						
SUBTOTAL No sujeto de IVA	00.00																						
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	163.00																						
DESCUENTO	0.00																						
ICE	0.00																						
IVA 12%	19.56																						
PROPINA	0.00																						
TOTAL	182.56																						
Forma de Pago OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO		Total 182.56	Plazo 1	Tiempo DIAS																			

Anexo N° 4

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Bacillus pumilus* a dosis de 5 ml/kg

ELICROM INSTITUTO DE CIENCIAS, INGENIERERÍA Y TECNOLOGÍA EN LA RESOLUCIÓN DEL SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBUROS

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:
EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN EN LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBUROS
PARA (SAGEL, SALAZAR QUEVEDO)
(0462700)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Origen de Muestra:	SUELO	Muestreado por:	Hand
Punto de Muestreo:	GRUPO 104-TERRELO, DERIVACIONES COMPLETA	Muestreador:	Hand
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y Hora de Muestreo:	04/03/2025 13:00
Tipo de Muestra:	Compost <i>Bacillus Pastis</i> , Tuberculo 2	Condiciones Ambientales de Muestreo:	NA
Código de la Muestra:	030-094-24	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	18/03/24 13:00
Nombre Técnico de Muestra:	NO APLICA	Condiciones Ambientales de Análisis:	20-25 °C, 40-50% RH
Plan Procedimiento de Muestreo:	NA	Acuerdo Técnico Muestra/Cliente:	TC-PSE-020-01 Rev. 12 Custodia

06/03/2025 15:09 PM:05 DR 2024

RESULTADOS

CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS

PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U MPE	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACIÓN
HEMPEROSANOS TERRESTRES (HETEROTERRESTRES)	8000	230	mg/kg	400	REC-104	MPA 104 C	20/03/2025 ELABORADO	200	CUMPLE

BIODIVERSIDAD NO METALICOS

PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U MPE	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACIÓN
BT	75	40	mg/kg	15	REC-104	MPA 104 B	20/03/2025 ELABORADO	10	CUMPLE

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS

PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U MPE	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACIÓN
CONDENSADO ELECTRICO	200	50	µS/cm	25	REC-104	MPA 104 B	20/03/2025 ELABORADO	40	CUMPLE
BAUTERIOLOGIA	800	10	U	10	REC-104	MPA 104	20/03/2025 ELABORADO	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 5

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Bacillus pumilus* a dosis de 10 ml/kg

Guayaquil, 15 de marzo del 2025

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA		Origen de Muestra:		Muestreo por:		Fecha y Hora de Muestreo:		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Origen de Muestra:		SUELOS		Muestreo por:		dieta		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Punto de Muestreo:		GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA		Muestreo:		dieta		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Coordenadas Geográficas:		NA		Fecha y Hora de Muestreo:		04/03/24 15:00:00		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Tipo de Muestra:		Composteo <i>Bacillus Dactyli</i> Tratamiento 2		Condiciones Ambientales del Muestro:		NA		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Código de la Muestra:		069-034-24		Fecha y Hora de Recepción de Muestras:		16/03/24 10:00:00		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Nombre Técnico de Muestra:		NO APLICA		Condiciones Ambientales del Análisis:		22.3 °C, 62.3 %RH		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Plan/Procedimiento de Muestra:		NA		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Muestreo por:		dieta		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Muestreo:		dieta		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Fecha y Hora de Muestreo:		04/03/24 15:00:00		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Condiciones Ambientales del Muestro:		NA		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Fecha y Hora de Recepción de Muestras:		16/03/24 10:00:00		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Condiciones Ambientales del Análisis:		22.3 °C, 62.3 %RH		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	

RESULTADOS

CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
HIIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLIO**	0.184	0.247	mg/kg	41.18	FEEL 01.004	EPH 401.01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	500	CUMPLE**

INORGANICOS NO METALICOS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
PH*	7.8	6.01	U PH	01	FEEL 01.001	SM 4100-9-01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	6.5	CUMPLE**

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	221.5	0.01	µS/cm	21.4	FEEL 01.002	PH 04 8.00	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	500	NO CUMPLE**
SALINIDAD PROXIMA**	50.4	1.0	‰	0.07	FEEL 01.006	NA 01.014	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	—	—
TEMPERATURA**	25.3	0.7	°C	02	FEEL 01.002	SM 2001.01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 6

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Bacillus pumilus* a dosis de 15 ml/kg

Guayaquil, 15 de marzo del 2025

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA		Origen de Muestra:		Muestreo por:		Fecha y Hora de Muestreo:		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Origen de Muestra:		SUELOS		Muestreo por:		dieta		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Punto de Muestreo:		GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA		Muestreo:		dieta		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Coordenadas Geográficas:		NA		Fecha y Hora de Muestreo:		04/03/24 15:00:00		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Tipo de Muestra:		Composteo <i>Bacillus Dactyli</i> Tratamiento 2		Condiciones Ambientales del Muestro:		NA		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Código de la Muestra:		069-034-24		Fecha y Hora de Recepción de Muestras:		16/03/24 10:00:00		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Nombre Técnico de Muestra:		NO APLICA		Condiciones Ambientales del Análisis:		22.3 °C, 62.3 %RH		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Plan/Procedimiento de Muestra:		NA		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Muestreo por:		dieta		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Muestreo:		dieta		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Fecha y Hora de Muestreo:		04/03/24 15:00:00		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Condiciones Ambientales del Muestro:		NA		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Fecha y Hora de Recepción de Muestras:		16/03/24 10:00:00		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Condiciones Ambientales del Análisis:		22.3 °C, 62.3 %RH		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	
Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:		FO.PCE.000-01 Rev. 12		CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUESTRO:	

RESULTADOS

CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
HIIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLIO**	0.076	0.201	mg/kg	41.18	FEEL 01.004	EPH 401.01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	500	CUMPLE**

INORGANICOS NO METALICOS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
PH*	7	4.01	U PH	01	FEEL 01.001	SM 4100-9-01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	6.5	CUMPLE**

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS

PARAMETROS	RESULTADOS	L.C.	UNIDADES	U N°	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	200	0.01	µS/cm	21.4	FEEL 01.002	PH 04 8.00	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	500	NO CUMPLE**
SALINIDAD PROXIMA**	49.8	1.0	‰	0.07	FEEL 01.006	NA 01.014	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	—	—
TEMPERATURA**	26	0.7	°C	02	FEEL 01.002	SM 2001.01	2024-03-16 E.M.RODRIGUEZ	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 7

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Bacillus pumilus* a dosis de 20 ml/kg

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		Guayaquil, 15 de mayo del 2025	
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreado por:	cliente
Punto de Muestreo:	GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA	Muestreador:	cliente
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y Hora de Muestreo:	04/05/24 15:00:00
Tipo de Muestra:	Compostado <i>Bacillus Pumilus</i> Tratamiento I	Condiciones Ambientales del Muestreo:	NA
Código de la Muestra:	609-004-04	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	15/05/24 10:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.5 °C, 62.3 %RH
Plan/Procedimiento de Muestreo:	NA	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FD-PGG-003-01 Rev. 12

RESULTADOS									
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO**	70.549	0.287	mg/kg	4475	PR 8.1.001	804-001-0	2024-05-15 E. SORRERA	500	COMPLET*

INDORGANICOS NO METALICOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
pH**	8.0	8.00	UNDA	01	PR 8.1.001	80-10004-8	2024-05-15 E. SORRERA	8.0	COMPLET*

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	2887	500	µS/cm	27.4	PR 8.1.001	804-010	2024-05-15 E. SORRERA	400	NO COMPLET*
MOISTURE ORGANICA**	46.8	1.0	%	210	PR 8.1.001	9811734	2024-05-15 E. SORRERA	—	—
TEMPERATURA**	22	4.1	°C	02	PR 8.1.001	94-1000-8	2024-05-15 E. SORRERA	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 8

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Bacillus pumilus* a dosis de 30 ml/kg

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		Guayaquil, 15 de mayo del 2025	
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreado por:	cliente
Punto de Muestreo:	GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA	Muestreador:	cliente
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y Hora de Muestreo:	04/05/24 15:00:00
Tipo de Muestra:	Compostado <i>Bacillus Pumilus</i> Tratamiento I	Condiciones Ambientales del Muestreo:	NA
Código de la Muestra:	609-004-04	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	15/05/24 10:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.5 °C, 62.3 %RH
Plan/Procedimiento de Muestreo:	NA	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FD-PGG-003-01 Rev. 12

RESULTADOS									
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO**	65.549	0.287	mg/kg	4475	PR 8.1.001	804-001-0	2024-05-15 E. SORRERA	500	COMPLET*

INDORGANICOS NO METALICOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
pH**	8.0	8.00	UNDA	01	PR 8.1.001	80-10004-8	2024-05-15 E. SORRERA	8.0	COMPLET*

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	2887	500	µS/cm	27.4	PR 8.1.001	804-010	2024-05-15 E. SORRERA	400	NO COMPLET*
MOISTURE ORGANICA**	46.7	1.0	%	210	PR 8.1.001	9811734	2024-05-15 E. SORRERA	—	—
TEMPERATURA**	22	4.1	°C	02	PR 8.1.001	94-1000-8	2024-05-15 E. SORRERA	—	—

1. Parámetros que se encuentran indicados en el alcance de acreditación ISO 17025 por E. SAE.

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 9

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Trichoderma sp* a dosis de 10 ml/kg

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		Guayaquil, 15 de marzo del 2024		
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreado por:	dieta	
Punto de Muestreo:	GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA	Muestreador:	dieta	
Coordenadas Geográficas:	N/A	Fecha y Hora de Muestreo:	04/03/24 15:00:00	
Tipo de Muestreo:	Completo (<i>Trichoderma sp</i> Tratamiento 1)	Condiciones Ambientales del Muestreo:	N/A	
Código de la Muestra:	0829-004-24	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	10/03/24 15:00:00	
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.3 °C, 62.3 %RH	
Plan/Procedimiento de Muestreo:	N/A	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.FEE.000-01 Rev. 02	

RESULTADOS									
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
HIPOCOCIBOS TOTALES DE PEROXIDO**	34.218	2.207	mg/Kg	46.7%	REL.D.04	SM 4501-D	2024-03-15 S. SUCRE	400	CUMPLE*
INORGANICOS NO METALICOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
PH*	7.4	4.81	PH	6.1	REL.D.001	SM 4501-HB	2024-03-15 S. SUCRE	6.5	CUMPLE*
PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	390	8.81	µS/cm	21.4	REL.D.003	HACH DR	2024-03-15 S. SUCRE	400	NO CUMPLE*
MATERIA ORGANICA**	50.4	1.5	%	2.5*	REL.D.006	NEN 574	2024-03-15 S. SUCRE	—	—
TORRIFICABLE**	28.3	0.7	%	0.1	REL.D.002	SM 4501-B	2024-03-15 S. SUCRE	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 10

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con con *Trichoderma sp* a dosis de 20 ml/kg

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		Guayaquil, 15 de marzo del 2024		
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreado por:	dieta	
Punto de Muestreo:	GASOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLETA	Muestreador:	dieta	
Coordenadas Geográficas:	N/A	Fecha y Hora de Muestreo:	04/03/24 15:00:00	
Tipo de Muestreo:	Completo (<i>Trichoderma sp</i> Tratamiento 2)	Condiciones Ambientales del Muestreo:	N/A	
Código de la Muestra:	0829-004-24	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	10/03/24 15:00:00	
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.3 °C, 62.3 %RH	
Plan/Procedimiento de Muestreo:	N/A	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.FEE.020-01 Rev. 02	

RESULTADOS									
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
HIPOCOCIBOS TOTALES DE PEROXIDO**	30.32	2.207	mg/Kg	46.7%	REL.D.04	SM 4501-D	2024-03-15 S. SUCRE	400	CUMPLE*
INORGANICOS NO METALICOS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
PH*	8	4.81	PH	6.1	REL.D.001	SM 4501-HB	2024-03-15 S. SUCRE	6.5	CUMPLE*
PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS									
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U M/G	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	590	8.81	µS/cm	21.4	REL.D.003	HACH DR	2024-03-15 S. SUCRE	400	NO CUMPLE*
MATERIA ORGANICA**	46.4	1.5	%	2.5*	REL.D.006	NEN 574	2024-03-15 S. SUCRE	—	—
TORRIFICABLE**	30	0.7	%	0.1	REL.D.002	SM 4501-B	2024-03-15 S. SUCRE	—	—

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 11
Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 30 ml/kg

Guayaquil, 18 de marzo del 2024

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				Muestreo por:				Fecha:			
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreador:		Fecha:				04/01/24 15:00:00			
Punto de Muestreo:	GAZOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLEJA	Muestreador:		Fecha:				18/03/24 15:00:00			
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y Hora de Muestreo:	04/01/24 15:00:00	Condiciones Ambientales del Muestreo:				NA			
Tipo de Muestra:	Compuesto Trichoderma Sp Tratamiento 3	Condiciones Ambientales del Muestreo:	NA	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:				18/03/24 15:00:00			
Código de la Muestra:	000-004-24	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	18/03/24 15:00:00	Condiciones Ambientales del Análisis:				22.3 °C; 62.3 °FHR			
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.3 °C; 62.3 °FHR	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:				FO.PCC.023-01 Rev. 02			
Plan/Procedimiento de Muestreo:	NA	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PCC.023-01 Rev. 02								

RESULTADOS										
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
HIDROCARBOS TOTALES DE PETROLEO**	601	237	mg/kg	470	EECL/04	EN 15707	204/01/24 S. MENDOZA	50	CUMPLE*	

INORGANICOS NO METALICOS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
pH	5	2.0	UPH	5.5	FEEL/01	EN 15004-6	204/01/24 S. MENDOZA	5.5	CUMPLE*	

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	796	5.01	µS/cm	21.4	FEEL/03	NACH 990	204/01/24 S. MENDOZA	40	NO CUMPLE*	
HUMEDAD ORGANICA**	300	1.0	%	2.0	FEEL/06	MEM 074	204/01/24 S. MENDOZA	--	--	
TEMPERATURA**	25	21	°C	22	FEEL/02	EN 12705	204/01/24 S. MENDOZA	--	--	

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 12
Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con Trichoderma sp a dosis de 40 ml/kg

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				Muestreo por:				Fecha:			
Origen de Muestra:	SUELOS	Muestreador:		Fecha:				04/01/24 15:00:00			
Punto de Muestreo:	GAZOLINERA TERPEL GUAYACANES-COMPLEJA	Muestreador:		Fecha:				18/03/24 15:00:00			
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y Hora de Muestreo:	04/01/24 15:00:00	Condiciones Ambientales del Muestreo:				NA			
Tipo de Muestra:	Compuesto Trichoderma Sp Tratamiento 5	Condiciones Ambientales del Muestreo:	NA	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:				18/03/24 15:00:00			
Código de la Muestra:	000-004-24	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	18/03/24 15:00:00	Condiciones Ambientales del Análisis:				22.3 °C; 62.3 °FHR			
Norma Técnica de Muestreo:	NO APLICA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.3 °C; 62.3 °FHR	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:				FO.PCC.023-01 Rev. 02			
Plan/Procedimiento de Muestreo:	NA	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PCC.023-01 Rev. 02								

RESULTADOS										
CONSTITUYENTES ORGANICOS AGREGADOS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
HIDROCARBOS TOTALES DE PETROLEO**	501	237	mg/kg	470	EECL/04	EN 15707	204/01/24 S. MENDOZA	50	CUMPLE*	

INORGANICOS NO METALICOS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
pH	5.7	2.0	UPH	5.5	FEEL/01	EN 15004-6	204/01/24 S. MENDOZA	5.5	CUMPLE*	

PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADAS										
PARAMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U N°2	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LIMITE PERMISIBLE*	EVALUACION*	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**	300	5.01	µS/cm	21.4	FEEL/03	INCH 990	204/01/24 S. MENDOZA	40	NO CUMPLE*	
HUMEDAD ORGANICA**	30.8	1.0	%	2.0	FEEL/06	MEM 074	204/01/24 S. MENDOZA	--	--	
TEMPERATURA**	25	21	°C	22	FEEL/02	EN 12705	204/01/24 S. MENDOZA	--	--	

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 13

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo tratado con *Trichoderma sp* a dosis de 60 ml/kg

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA			
Origen de muestra:	SUELO	Mostrador por:	4016
País de Muestra:	COLUMBIA TERRE SURKOLAND-CORFUETA	Mostrador:	4016
Coordenadas Geográficas:	NA	Fecha y hora de Muestra:	04/04/2025 12:00:00
Tipo de Muestra:	Compost <i>Trichoderma sp</i> Telemetrol	Condiciones Ambientales del Muestra:	40
Código de la Muestra:	020-0243	Fecha y Hora de Recepción de Muestra:	02/04/2025 18:00:00
Nombre Técnico de Muestra:	NO AFLOA	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.3 62.0 3 30.40
Plan/Procedimiento de Muestra:	503	Fecha de Toma de muestra/Calentamiento de muestra:	02/04/2025 Rev. 12

RESULTADOS									
CONTENIENTES ORGANICOS ABRUMADOS									
PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
MOISTURE (%)	24.7	2.0	10%	0.5	02.01.01	02.01.01	02.01.01	40	OK

ORGANIC METALS									
PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
PH	7	0.5	1.0	0.1	02.01.01	02.01.01	02.01.01	4.5	OK

PROPERTIES PHYSICAL AND CHEMICAL									
PARAMETRO	RESULTADO	LC	UNIDADES	U	PROCEDIMIENTO	METODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE*	EVALUACION
EC	246.6	0.5	2500	0.4	02.01.01	02.01.01	02.01.01	400	OK
TOC (%)	58.0	0.5	5	0.1	02.01.01	02.01.01	02.01.01	---	---
TEMPERATURE	25.0	0.1	30	0.1	02.01.01	02.01.01	02.01.01	---	---

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 14

Tabla resumen de los parámetros fisicoquímicos de los suelos remediados por los diferentes tratamientos realizados con sus repeticiones

Tratamiento	Repeticion	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Potencial de Hidrogeno	Materia Orgánica (%)	Temperatura (°C)	Concentración final TPH (mg/kg)
T1	R1	2464,6	7,1	58,0	25,0	84,21
	R2	2709,4	7,5	63,6	25,4	85,57
T2	R1	2764,9	7,7	42,3	25,2	50,32
	R2	3040,1	8,1	38,9	25,0	51,12
T3	R1	3265,2	8,0	41,0	25,0	40,01
	R2	3140,8	7,9	37,7	25,2	40,58
T4	R1	3581,8	6,4	34,9	24,9	30,01
	R2	3490,2	6,8	37,3	25,1	31,96
T5	R1	3939,3	6,4	29,6	25,3	25,47
	R2	3828,7	6,1	32,6	25,1	25,74
T6	R1	2798,4	7,6	55,0	25,7	99,55
	R2	2978,6	7,3	59,4	25,3	99,81
T7	R1	2772,0	7,2	52,5	25,2	97,35
	R2	2921,0	7,8	48,8	25,6	99,10
T8	R1	2837,7	6,9	50,3	25,1	85,68
	R2	3040,3	7,1	47,6	24,9	86,41
T9	R1	2933,4	6,3	47,5	25,2	70,55
	R2	2987,6	7,0	44,5	24,8	72,45
T10	R1	3039,0	6,4	42,5	25,0	55,55
	R2	2965,0	7,0	39,3	25,2	55,75

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 15
Tamizado del suelo



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 16
Consortios microbianos (*Bacillus Pumilus* y *Trichoderma Sp*)



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 17
Colocación de muestras de suelo en envases



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 18
Recolección de dosis en mg/kg de *Bacillus Pumilus*



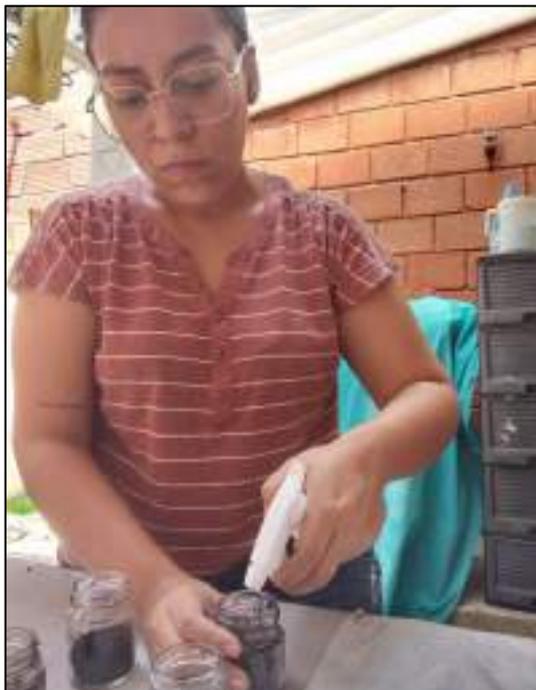
Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 19***Recolección de dosis en mg/kg de *trichoderma sp****

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 20***Colocación de dosis de tratamientos en el rociador***

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 21***Rociando la dosis de tratamiento a cada muestra de suelo*****Elaborado por:** La Autora, 2025**Anexo N° 22*****Muestras con diferentes dosis de Bacillus Pumilus y thrichoderma sp*****Elaborado por:** La Autora, 2025

Anexo N° 23***Determinación del peso de las muestras de suelo en la balanza analítica***

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 24***Incubación de las muestras de suelo con las diferentes dosis de tratamiento***

Elaborado por: La Autora, 2025