

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES**



**“EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS  
DE PETRÓLEO FRACCIÓN F2 Y F3 EN SUELOS  
CONTAMINADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE  
COMPOST Y *Zea mays* (MAÍZ)”**

**Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Ambiental y de Recursos Naturales**

**RICHARD ANDRÉ TAIPE PÉREZ  
LUISJAVIER ALEXANDER AMARO BARRETO  
LILIAN MIRELL ARMAS TARAZONA**

Callao, 2020

PERÚ



HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES

**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**

**ACTA DE INSTALACIÓN DEL JURADO EVALUADOR  
DE TESIS**

**N° 003-2020-JEDT-FIARN**

Siendo las 16:30 horas del día viernes 21 de agosto del 2020, se reúnen en el Aula Virtual utilizando la Plataforma el Google Meet <https://meet.google.com/gos-unyh-ef>, el Jurado Evaluador de Tesis designado por la Resolución N° 091-2019-D-FIARN de fecha 15 de noviembre de 2019 conformado por los docentes Mg. Teófilo Allende Ccahuana (Presidente), Lic. Janet Mamani Ramos (Secretaria), Elgo. Carlos Odorico Tome Ramos (Vocal), MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío (Asesora), para llevar a cabo la Sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO FRACCIÓN F2 Y F3 EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPOST Y *Zea mays* (MAÍZ)".

Acto seguido, el Jurado Evaluador se instala dando lectura a la Resolución N° 130-2020-D-FIARN de fecha 11 de agosto de 2020 que dispone la sustentación de la Tesis por los Bachilleres Luisjavier Alexander Amaro Barreto, Lilian Mirell Armas Tarazona y Richard André Talpe Pérez para la obtención del Título Profesional, con lo cual se da por terminada la ceremonia de instalación a las 16:40 horas del día 21 de agosto de 2020.



Mg. Teófilo Allende Ccahuana  
Presidente



Lic. Janet Mamani Ramos  
Secretaria



Elgo. Carlos Odorico Tome Ramos  
Vocal



MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío  
Asesora

## INFORME DEL PROCESO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

El Jurado Evaluador de Tesis designado por la Resolución N° 091-2019-D-FIARN de fecha 15 de noviembre de 2019 conformado por los docentes Mg. Teófilo Allende Ccahuana (Presidente), Lic. Janet Mamani Ramos (Secretaria), Blgo. Carlos Odorico Tome Ramos (Vocal), MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pio (Asesora), se reunieron el día viernes 21 de agosto de 2020 a las 16:30 horas, en el Aula Virtual utilizando la Plataforma el Google Meet <https://meet.google.com/gos-unyh-eti>, para llevar a cabo la Sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO FRACCIÓN F2 Y F3 EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPOST Y *Zea mays* (MAÍZ)".

Asimismo, se hizo lectura de la Resolución N° 130-2020-D-FIARN de fecha 11 de agosto de 2020 que dispone la sustentación de la Tesis por los Bachilleres Luisjavier Alexander Amaro Barreto, Lilian Mirell Armas Tarazona y Richard André Taipe Pérez para la obtención del Título Profesional. Además, señaló que para la sustentación fué un tiempo de 30 minutos.

Terminada la exposición, el Jurado Evaluador invito a los Bachilleres y al público en general, que se retiren de la Aula Virtual del Meet Google, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acordó **APROBAR POR UNANIMIDAD**, con el Calificativo de **MUY BUENO** y con ello se concluyó el proceso de Sustentación de Tesis.

Bellavista, 30 de setiembre de 2020.



Mag. Teófilo Allende Ccahuana  
Presidente del JEDT

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, a mi madre por su esfuerzo y dedicación, a mi padre por su ejemplo, a mi abuelita por todo su amor, a mi tío Francisco, a mi familia entera y a mis amigos que siempre me apoyaron para lograr mis metas.

A mi madre Roxana, familia y amigos que con su apoyo han permitido el cumplimiento de una meta importante en mi vida.

A Dios, mi madre Doris, mis hermanas, mi sobrina y amigos por su incondicional apoyo en mi crecimiento personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestras familias, quienes confiaron y apoyaron en poder realizar esta investigación.

A la profesora Carmen Barreto Pio asesora de esta tesis; quien nos ha orientado, enseñado, apoyado y corregido, con interés y una gran entrega.

Al Ingeniero Harold Alemán Saavedra por su hospitalidad y apoyo en nuestra estadía en Talara, Piura.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRAC</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	5
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	5
1.2. Formulación del Problema	7
1.2.1. General	7
1.2.2. Específicos	7
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo General	8
1.3.2. Objetivos Específicos	8
1.4. Justificación	8
1.5. Limitantes de la Investigación	10
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	12
2.1. Antecedentes	12
2.1.1. Nacional	12
2.1.2. Internacional	14
2.2. Bases Teóricas	16
2.3. Conceptual	36
2.4. Definición de términos básicos	38
<b>III. HIPOTESIS Y VARIABLES</b>	40
3.1. Hipótesis	40
3.1.1. General	40
3.1.2. Específico	40
3.2. Definición Conceptual de las Variables	41
3.2.1. Operacionalización de las Variables	42
<b>IV. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	45
4.1. Tipo y Diseño de la Investigación	45
4.2. Método de Investigación	48
4.3. Población y Muestra	54
4.4. Lugar del Estudio y Periodo desarrollado	58
4.4.1. Lugar de Estudio	58
4.4.2. Periodo Desarrollado	58

4.5.	Técnicas e Instrumentos para la recolección de la información	59
4.6.	Análisis y Procesamiento de Datos	62
4.6.1.	Análisis de Datos	62
4.6.2.	Procesamiento de Datos	65
V.	<b>RESULTADOS</b>	66
5.1.	Resultados descriptivos	66
5.1.1.	Caracterización del Suelo Contaminado por Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3.	66
5.1.2.	Caracterización de Compost	71
5.1.3.	Germinación y Alturas de <i>Zea mays</i>	73
5.1.4.	Concentraciones Finales de TPH por Tratamiento	76
5.2.	Resultados inferenciales	79
5.2.1.	Análisis germinativo y altura de planta de <i>Zea mays</i> (Maíz)	79
5.2.2.	Análisis Comparativo TPH-F2	79
5.2.3.	Análisis Comparativo TPH-F3	86
5.2.4.	Eficiencia de Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3	92
VI.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	95
6.1.	Contrastación y demostración de la Hipótesis con los resultados	95
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	98
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	105
	<b>CONCLUSIONES</b>	106
	<b>RECOMENDACIONES</b>	108
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	110
	<b>ANEXOS</b>	115
	<b>ANEXO N° 1 – MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	116
	<b>ANEXO N° 2 – INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO</b>	118
	<b>ANEXO N° 3 – REGISTROS DE CAMPO</b>	128
	<b>ANEXO N° 4 – PANEL FOTOGRÁFICO</b>	145
	<b>ANEXO N° 5 – INFORMACIÓN DEL MAÍZ UTILIZADO: INIA 619 - MEGAHÍBRIDO</b>	157

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA N° 2. 1 – VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PLANTAS EN LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS.....	30
TABLA N° 2. 2 - IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.....	31
TABLA N° 2. 3 – ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DURANTE EL CICLO VEGETATIVO DEL MAÍZ.....	34
TABLA N° 2. 4 – CANTIDADES DE AGUA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ .....	35
TABLA N° 4. 1 –DOSIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS .....	46
TABLA N° 4. 2 – CÁLCULOS DE GRADO DE LIBERTAD PARA APLICAR EL DCA.....	47
TABLA N° 4. 3 – FRECUENCIA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS .....	50
TABLA N° 4. 4 – PARAMETROS EVALUADOS.....	53
TABLA N° 4. 5 – PARAMETROS EVALUADOS SEMANALMENTE .....	53
TABLA N° 4. 6 – UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRA DE SUELOS .....	56
TABLA N° 4. 7– TÉCNICAS Y MÉTODOS .....	59
TABLA N° 4. 8– CARACTERISTICAS DE MULTIPARAMETRO EZDO 7200.....	61
TABLA N° 4. 9– CARACTERISTICA DE BALANZA ANALITICA .....	61
TABLA N° 5. 1 – PUNTO DE TOMA DE MUESTRA COMPUESTA – TALARA, PIURA	66
TABLA N° 5. 2 – CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.....	68
TABLA N° 5. 3 – VALORES DE CONCENTRACION INICIAL DE TPH F2 Y F3.....	71
TABLA N° 5. 4 – CARACTERIZACIÓN DE COMPOST .....	72
TABLA N° 5. 5 – CONTENIDO DE N, P, K EN COMPOST.....	72
TABLA N° 5. 6 - NÚMERO DE SEMILLAS GERMINADAS Y ALTURA DE PLANTA <i>ZEA MAYS</i> .....	75
TABLA N° 5. 7 – RESULTADOS DE TPH F2 POR TRATAMIENTO .....	76
TABLA N° 5. 8 - RESULTADOS DE TPH F3 POR TRATAMIENTO .....	76
TABLA N° 5. 9 – PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK PARA TPH F2.....	81
TABLA N° 5. 10 – RESUMEN DE PRUEBA DE H DE KRUSKAL-WALLIS, DISTRIBUCIÓN DE MEDICIONES DE TPH F2 .....	83
TABLA N° 5. 11 – COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS MEDIANTE PRUEBA DE LA U DE MANN-WHITNEY .....	84
TABLA N° 5. 12 - PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK PARA TPH F3 .....	87
TABLA N° 5. 13 – PRUEBA DE IGUALDAD DE LEVENE PARA LAS MEDICIONES DE TPH F3 .....	88
TABLA N° 5. 14 – TABLA ANOVA PARA MEDICIONES DE TPH F3 .....	89
TABLA N° 5. 15 - COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS MEDIANTE LA PRUEBA HSD TUKEY.....	90

<b>TABLA N° 5. 16 – SUBCONJUNTOS HOMOGENEOS MEDIANTE LA PRUEBA HSD TURKEY</b>	92
<b>TABLA N° 5. 17 – EFICIENCIAS DE REMOCIÓN TPH F2 Y F3 POR TRATAMIENTO</b>	93

## **TABLA DE GRAFICOS**

<b>GRAFICA N° 5. 1 – NÚMERO DE SEMILLAS GERMINADAS POR REPLICAS DE CADA TRATAMIENTO</b>	73
<b>GRAFICA N° 5. 2 – NÚMERO DE ALTURA DE PLANTAS POR REPLICAS DE CADA TRATAMIENTO</b>	74
<b>GRAFICO N° 5. 2 – GERMINACIÓN Y ALTURA DEL MAÍZ</b>	74
<b>GRAFICO N° 5. 4 – CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL – TPH F2</b>	78
<b>GRAFICO N° 5. 5 - CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL – TPH F3</b>	78
<b>GRAFICO N° 5. 5 – PRUEBA DE H DE KRUSKAL-WALLIS, DISTRIBUCIÓN DE MEDICIONES DE TPH F2 MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS</b>	82
<b>GRAFICA N° 5. 7 – RELACIÓN DE EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN, ALTURA DE PLANTA Y DOSIS DE COMPOST</b>	94

## **TABLA DE FIGURAS**

<b>FIGURA N° 2. 1– POSIBLES INTERACCIONES ENTRE LAS MATRICES DEL SUELO Y LOS HIDROCARBUROS</b>	20
<b>FIGURA N° 2. 2 – INSUMONS PARA LA PREPARACIÓN DE COMPOST</b>	21
<b>FIGURA N° 2. 3 – PREPARACIÓN DE COMPOST</b>	24
<b>FIGURA N° 2. 4 – FASES DEL COMPOSTAJE</b>	25
<b>FIGURA N° 2. 5 – EFECTOS DEL COMPOST EN LOS SUELOS CONTAMINADOS POR COMPUESTOS ORGÁNICOS</b>	27
<b>FIGURA N° 2. 6 – REQUERIMIENTOS DE AGUA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ</b>	35
<b>FIGURA N° 4. 1 – UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	47
<b>FIGURA N° 4. 2 – DIMENSIONES DE MACETA</b>	49
<b>FIGURA N° 4. 3 - UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	51
<b>FIGURA N° 4. 4 – LOTES PETROLEROS, PROVINCIA DE TALARA – PIURA</b>	55
<b>FIGURA N° 4. 5 – PUNTO DE TOMA DE MUESTRA DE SUELOS</b>	56
<b>FIGURA N° 4. 6 – INFORMACIÓN DE CALICATA RPT13</b>	57
<b>FIGURA N° 4. 7 – METODO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA</b>	57
<b>FIGURA N° 4. 8 – PATRON DE MUESTREO DE REJILLAS CIRCULAR</b>	58
<b>FIGURA N° 4. 9 – PROCEDIMIENTO DE ANALISIS ESTADISTICO COMPARATIVO SEGÚN EL COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS</b>	64

<b>FIGURA N° 5. 1 – PROCEDIMIENTO DE ANALISIS ESTADISTICO SEGÚN EL COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA N° 5. 2 – GRAFICO DE NODOS – PRUEBA DE U DE MANN-WHITNEY PARA MEDICIONES DE TPH – F2 .....</b>	<b>85</b>

## **TABLA DE FOTOGRAFIAS**

<b>FOTOGRAFIA N° 4. 1 – ELABORACIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>51</b>
<b>FOTOGRAFIA N° 4. 2 – AMBIENTE DESTINADO PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS ...</b>	<b>52</b>

## RESUMEN

En años recientes se identificaron pasivos ambientales del sub sector hidrocarburo, los cuales se encuentran localizados en la costa del departamento de Piura. Considerando la importancia de encontrar métodos y tecnologías de remediación de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) eficaces y a bajo costo, la presente tesis tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) Fracción F2 y F3 mediante el uso del *Zea mays* (maíz) y compost como tratamiento en conjunto. La muestra extraída fue de un suelo contaminado con pasivos ambientales cercanos a un pozo petrolero de la Provincia de Talara, Piura; la cual presentó una concentración inicial de 34,131 mg/kg y 52,050 mg/kg de TPH fracción F2 y F3 respectivamente. El experimento se desarrolló durante 90 días y se realizó en macetas aplicando cuatro tratamientos (M1, M2, M3, M4) además de un control (M0) y cada uno con tres repeticiones; donde se mantuvo constante la cantidad de 4 kg de suelo contaminado por tratamiento y la cantidad de 5 semillas de *Zea mays* (maíz), variando las concentraciones de compost M1: 0% (w/w), M2: 40% (w/w), M3: 50% (w/w) y M4: 60% (w/w). El control M0 tuvo 4 kg de suelo agrícola y también la misma cantidad de semillas de *Zea mays*. Según los resultados de la experimentación se determinó que la aplicación de compost y *Zea mays* (maíz) como tratamiento en conjunto para la remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) fracción F2 y F3 es viable presentando remociones superiores al 71% y 53 % respectivamente. La eficiencia de remoción de TPH F2 y F3 aumentó con la dosis de concentración de compost en cada tratamiento; la dosis óptima de compost para nuestra investigación fue la empleada en el tratamiento M4 (60% w/w Compost) debido que logró mayor eficiencia de remoción de TPH F2 y F3; además de una mejor germinación y desarrollo de la altura de *Zea mays* (maíz) en comparación con los tratamientos M1 (Atenuación Natural), M2 y M3. En conclusión el tratamiento en conjunto de *Zea mays* (maíz) y el compost con una concentración al 60% (w/w) permitió lograr mayor eficiencia de remoción de TPH fracción F2 y F3 en suelos contaminados.

## ABSTRAC

In recent years, environmental liabilities of the hydrocarbon sub sector were identified, which are located on the coast of the department of Piura. Considering the importance of finding effective and low-cost methods of remediation of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), the objective of this thesis is to evaluate the efficiency of removal of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) Fraction F2 and F3 through the use of *Zea mays* (corn) and compost as a whole treatment. The sample extracted was from a soil contaminated with environmental liabilities near an oil well in the Province of Talara, Piura; which presented an initial concentration of 34,131 mg / kg and 52,050 mg / kg of TPH fraction F2 and F3 respectively. The experiment was carried out for 90 days and was carried out in pots applying four treatments (M1, M2, M3, M4) in addition to a control (M0) and each one with three repetitions; where the quantity of 4 kg of contaminated soil was kept constant by treatment and the quantity of 5 seeds of *Zea mays* (corn), varying the concentrations of compost M1: 0% (w/w), M2: 40% (w/w), M3: 50% (w/w) and M4: 60% (w/w). The M0 control had 4 kg of agricultural land and also the same amount of *Zea mays* seeds. According to the results of the experimentation, it was determined that the application of compost and *Zea mays* (corn) as a joint treatment for the removal of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) fraction F2 and F3 is viable presenting removals greater than 71% and 53 % respectively. The removal efficiency of TPH F2 and F3 increased with the dose of compost concentration in each treatment; The optimal dose of compost for our investigation was the one used in the M4 treatment (60% w/w compost) because it achieved greater removal efficiency of TPH F2 and F3; in addition to a better germination and development of the height of *Zea mays* (corn) compared to the M1 (Natural Attenuation), M2 and M3 treatments. In conclusion, the joint treatment of *Zea mays* (Corn) and compost with a concentration of 60% (w / w) allowed to achieve greater efficiency of removal of TPH fraction F2 and F3 in contaminated soils.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda por encontrar tecnologías a bajo costo y ecológicas para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo ha llevado a realizar diversos estudios, los cuales han permitido demostrar la eficiencia en el uso de plantas para estimular la degradación microbiana de compuestos de hidrocarburos de petróleo, por lo que se considera un enfoque prometedor y rentable para la remediación de estos suelos contaminado (Gkorezis et al., 2016). El crecimiento y la actividad microbiana en los suelos son limitados por el bajo contenido de nutrientes como Fósforo (P), Nitrógeno (N) y Potasio (K). Ante esta problemática la aplicación de compost aparece como una solución ecológica y amigable, porque es un abono orgánico rico en nutrientes que contribuye en la porosidad y retención del agua en el suelo; este producto es obtenido por la descomposición de desechos de origen vegetal y animal en un ambiente húmedo, y caliente con la presencia del aire y sobre todo de microorganismos (Mendoza, 2016)

Investigaciones realizadas con el maíz (*Zea mays*) demuestran su capacidad para remediar suelos contaminados con hidrocarburos (Kaimi et al., 2007) , donde se ha logrado eficiencia de remediación en un rango de 52.21 – 72.84% (Liao et al., 2015). En la investigación de Tamayo, (2016) confirmó que el uso de compost hechos a partir de cáscara de limón tiene resultados positivos como enmienda orgánica en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos provenientes de la refinería de Talara. Se han obtenido entre 40 - 75.87% de reducción en la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) usando compost a partir de desechos municipales (Adekunle, 2011). Esta información nos permite ver con gran optimismo la combinación del uso de plantas y aplicación de compost en suelos impactados por la actividad petrolífera.

Considerando la importancia de encontrar métodos o tecnologías de remediación eficaces y a bajo costo para remediar los suelos contaminados por hidrocarburos; esta tesis demostró la eficiencia de la remoción TPH F2 y F3 mediante el uso combinado del maíz (*Zea mays*) y compost como un tratamiento

en conjunto. Esta tesis se realizó en macetas tomando cuatro tratamientos (M1, M2, M3 M4) y un control (M0) cada uno con 3 repeticiones, donde se mantuvo constante la cantidad de 4 Kg de suelo contaminado por tratamiento y la cantidad de 5 semillas de maíz, variando las concentraciones de Compost M1: 0% (w/w), M2: 40% (w/w), M3: 50% (w/w) y M4: 60% (w/w); el control tendrá 4 Kg de suelo agrícola y también mantendrá la misma cantidad de semillas de Maíz. Esto nos permitió evaluar la diferencia y efectividad del tratamiento propuesto de acuerdo con el porcentaje (%) de remoción Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) al final del tratamiento en un periodo de 3 meses.

La experimentación se realizó a escala invernadero y remedio pasivos ambientales de suelos contaminados por hidrocarburos de la provincia de Talara, Piura. Esto trae oportunidades para desarrollar investigaciones de tratamientos de remediación en este campo de estudio y poder implementarlo a una escala piloto o en campo.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

En el Perú la extracción y utilización del petróleo empezó hace más de 10 siglos. Sin embargo, fue a partir de mediados del siglo XIX, en el año 1863, que se realizó la primera perforación en búsqueda de petróleo en el Norte del Perú (Defensoría del Pueblo, 2015).

Como toda actividad extractiva ésta genera una serie de impactos, por ejemplo, las actividades de exploración, por el uso de explosivos y perforación de pozos exploratorios; así como las actividades de explotación, por la perforación de pozos de producción y la generación de agua de producción (Defensoría del Pueblo, 2015).

Asimismo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, (2016) público que en el Perú durante los años 2013 al 2016 se identificaron alrededor de 3102 pasivos ambientales del sub sector hidrocarburos de los cuales el 95% se encuentran en el departamento de Piura; considerándose un pasivo del sector hidrocarburo a una instalación o pozo mal abandonado, suelo contaminado por efluentes o derrames, restos de residuos y, en general, todo aquello que haya sido generado por un operador de hidrocarburos que haya cesado sus actividades.

La liberación de estos compuestos de petróleo en el suelo deteriora la calidad y se informa que su persistencia en el suelo ejerce toxicidad para las plantas, influyendo en procesos tales como desarrollo de raíces de las plantas, absorción de agua en el suelo por plantas, estrés hídrico y deficiencia de nutrientes. También es importante debido al daño potencial a la flora y la fauna natural; los hidrocarburos del petróleo se bioacumulan, y poseen la capacidad de concentrarse en la escala trófica. Además, los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) a menudo son tóxicos y carcinogénicos, por lo tanto, constituyen una amenaza para la salud de

las plantas, los animales y los humanos (Adekunle, 2011). La contaminación por hidrocarburos de petróleo resulta en un aumento dramático de las fuentes de carbono en los suelos afectados y un agotamiento de nutrientes importantes como el nitrógeno y el fósforo (Al-Kindi & Abed, 2016).

La contaminación generalizada de los ecosistemas terrestres con hidrocarburos del petróleo ha generado una necesidad de remediación y, dado que muchos de estos compuestos son biodegradables (Gkorezis et al., 2016), existen diversos métodos químicos y físicos, tales como el lavado del suelo, la solidificación, la estabilización y el tratamiento térmico, que pueden aplicarse para remediar. Sin embargo, estos tratamientos no sólo son destructivos para el suelo, sino conllevan un alto costo (Asadollahi, Zamani, Hajabbasi, & Schulin, 2016).

El uso de plantas y los microorganismos asociados para asimilar, transformar, metabolizar, desintoxicar y degradar varios compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (p. Ej. hidrocarburos, pesticidas, tintes, solventes) que se encuentran en el suelo, agua, aguas subterráneas y aire, es generalmente considerado como un enfoque de remediación ambientalmente amigable, rentable y socialmente aceptado (Gkorezis et al., 2016). En una investigación realizada por Liao et al., (2015) usando el maíz para remediar suelos con petróleo crudo, llevada a cabo en macetas por un periodo de 60 días, se obtuvo resultados de eficiencia de remediación de más del 50%.

El aplicación de enmiendas orgánicas ayuda en aumentar la calidad del suelo y algunos nutrientes básicos de las plantas y, acelera la abundancia y diversidad de especies de la comunidad microbiana del suelo (Adekunle, 2011). De acuerdo a Ren (2018) el compost contiene una gran variedad y cantidad de nutrientes que son disponibles para la estimulación del metabolismo de microorganismos con la capacidad de degradar cadenas

de carbono; esto se debe porque estos se producen a partir de residuos sólidos orgánicos, y se ha probado que su adición mejora la remediación de suelos contaminados por compuestos orgánicos. Además, que la aplicación del compost permite realizar un tratamiento amigable y rentable (Duong, Penfold, & Marschner, 2012).

La aplicación de compost y el maíz (*Zea mays*) en conjunto para evaluar la eficiencia de remoción de hidrocarburos de petróleo en suelos contaminados puede abrir grandes posibilidades en la recuperación y una mejor gestión de suelos impactados por la actividad petrolera.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. General**

¿En qué medida los hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 presentes en suelos contaminados serán removidos mediante la aplicación de compost y *Zea mays* (maíz)?

### **1.2.2. Específicos**

- ¿En qué medida la concentración inicial de Hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 y la caracterización del suelo contaminado afectara en el diseño del tratamiento?
- ¿En qué medida los nutrientes y materia orgánica presentes en el Compost cumplirá con valores establecidos para su aplicación en suelos?
- ¿En qué medida la mayor dosis de compost aumentará la remoción de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados en la aplicación del tratamiento de compost y *Zea mays* (Maíz)?

- ¿En qué medida la menor concentración final de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado aumentará la remoción en la aplicación del tratamiento de compost y *Zea mays* (maíz).

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Evaluar la remoción de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados mediante la aplicación de compost y *Zea mays* (Maíz).

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la concentración inicial de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3, y caracterización del suelos contaminado para el diseño del tratamiento.
- Realizar una caracterización nutrientes y de materia orgánica del compost para su aplicación en suelos.
- Determinar la dosis óptima de compost a utilizar como enmienda orgánica en la aplicación del tratamiento combinado de compost y *Zea mays* (Maíz).
- Determinar la concentración final de Hidrocarburos totales de petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado para la remoción en la aplicación del tratamiento.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Social**

En el Perú se ha identificado que existen alrededor de 3,000 pasivos ambientales provenientes del sub sector hidrocarburos, localizándose en casi el 95% en el departamento de Piura que son un riesgo para los

centros poblados que se encuentran en los alrededores. Es por ello que la presente tesis mediante la técnica propuesta permitirá reducir las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo entre un 50% - 80% en los suelos contaminados, esto es de acuerdo a investigaciones y antecedentes en el uso de plantas, y compost en conjunto para la recuperación de suelos impactados por la actividad petrolera.

Todo ello permitirá recuperar el uso de suelos con aptitud agrícola, forestal y ganadera. Además de mejorar la calidad de vida de la población adyacente y disminuir la interacción de este contaminante con la población que vive en los alrededores donde se desarrolla esta actividad.

#### **1.4.2. Legal**

Esta tesis tuvo como finalidad remediar de manera eficiente los suelos impactados con hidrocarburos de petróleo, especialmente las fracciones F2 (>C10-C28) y F3 (>28C-C40), teniendo como meta cumplir con lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad (ECA) para Suelo. Se consideran estas fracciones teniendo en consideración lo mencionado por Chikere et al., (2011), que las cadenas bajo peso molecular especialmente de los alcanos se volatilizan fácilmente, por lo tanto, en la presente tesis no se considerará la fracción F1 (C6 –C10).

#### **1.4.3. Ambiental**

El presente proyecto permitirá remover y/o reducir la concentración de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3, mejorando la calidad de estos suelos en su condición de cuerpo receptor, así como de las zonas aledañas, para ello proponemos el uso de compost y maíz, como una alternativa ecológica con resultados positivos y alentadores en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el Perú.

El uso de plantas en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos ha tenido grandes resultados por su eficiencia, teniendo en cuenta que las plantas asociadas a microorganismos y con suficientes nutrientes permiten degradar las cadenas de carbono de los hidrocarburos (Liao et al., 2015). El maíz es una planta ampliamente estudiada en la remediación de suelos contaminados no solamente con hidrocarburos sino también por metales pesados (Hakeem et al., 2014). Su facilidad de crecer en todas las épocas del año la hacen atractiva para la remediación de suelos impactados por actividades extractivas (Alvarado & Chávez, 2009). Además, los datos de los índices fisiológicos y bioquímicos demostraron una adaptabilidad favorable del maíz al estrés de la contaminación por petróleo crudo. Esto sugirió que el uso del maíz (*Zea mays* L.) es una buena opción para la remediación del suelo contaminado con petróleo, dentro de un cierto rango de concentraciones (Liao et al., 2015).

Ambos tratamientos en conjuntos permiten obtener una propuesta sostenible con el medio ambiente, pues el maíz aparte de remover THP puede ser reaprovechado como alimento de forraje, previo análisis post tratamiento; mientras que el compost puede ser obtenido de restos de residuos. Es decir, podemos remediar haciendo uso de residuos y obtener un beneficio económico por su bajo costo.

## **1.5. Limitantes de la Investigación**

### **1.5.1. Teórica**

La limitación teórica en la presente tesis son los escasos antecedentes nacionales e internacionales en la remediación de pasivos ambientales de suelos contaminados por hidrocarburos mediante la utilización del tratamiento en conjunto del compost y el maíz.

### **1.5.2. Espacial**

En presente tesis el tratamiento se realizó ex-situ al punto de origen del pasivo ambiental que se ubica en el departamento de Piura, Provincia de Talara; esto debido a la falta de infraestructura adecuada y espacio para realizarlo. Ante esta limitante se realizaron las gestiones de un espacio en la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, con la finalidad de poder realizar la tesis en un ambiente amplio, adecuado y de fácil acceso para los tesisistas; además de estar ubicado próximo a los laboratorios lo cual facilitaría un mejor desarrollo del tratamiento.

### **1.5.3. Temporal**

Las concentraciones de hidrocarburos en suelos contaminados varían en el tiempo, esta tesis presento como limitante temporal la concentración inicial de contaminantes en el suelo. Debido a que en abril del 2018 se realizó la toma de muestras y la experimentación se inició en enero del 2019. Ante la variación ocasionada al inicio de la parte experimental al estar los suelos almacenados en sacos de rafia hasta el arranque del tratamiento, se analizó la concentración inicial de TPH F2 y F3 previo al arranque del sistema de tratamiento. Cabe destacar la temporalidad de los tratamientos que se desarrolló en la estación de verano entre los meses de enero – abril que es la temporada donde mejor se desarrolla el maíz, esto nos permitió demostrar la hipótesis planteada. Este periodo y además el tiempo de la experimentación se tomaron también debido a que en el Callao se presenta en promedio una temperatura similar al de Piura de donde es la muestra de estudio.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Nacional

- Ccolque & Vargas, (2017) en la Tesis “*Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP’s) mediante el Método de Biopilas con dos tipos de sustrato (Tierra y Abonos Orgánicos)*”, aplicó el método de biopilas buscando reducir la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo de suelos provenientes de un taller mecánico, usando como sustrato tierra y abonos orgánicos. De estos suelos aislaron 9 cepas microbianas, pero sólo 4 tuvieron alta capacidad degradativa; las cuales serán inoculadas en el sistema de biopilas. En 40 días de tratamiento los porcentajes de remoción con tierra como sustrato fue de 38.7%, para el compost 37.9% y humus de 3.1%; concluyendo que el uso de sustratos ricos en nutrientes como el compost entrega las condiciones para que las bacterias nativas aisladas puedan metabolizar las cadenas de carbono de HTP’s.
- Tamayo, (2016) en la Tesis “Efecto del compost de cáscara de Citrus Limón sobre la degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo en suelos Contaminados provenientes de Refinería Talara”, en este trabajo se preparó compost a partir de la cascara del limón y se aplicó en dos concentraciones diferentes (100 g compost / Kg de suelo contaminado y 200 g compost/Kg de suelo contaminado) con tres repeticiones cada una, en dos tiempos diferentes (25 días y 50 días) esto se mezcló con 1 Kg de suelo contaminado con una concentración 125’899.60 ppm obtenidos de la Refinería de Talara, aparte se cuenta con un control para evaluación. Los resultados obtenidos mostraron una remoción de 45.26 % de TPH aplicando 200 g de compost por un periodo de 50 días.

- Buendía, (2013) en la investigación “Biorremediación de suelos contaminados por Hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles”, se realizaron experimentación con doce (12) tratamientos con tres (3) repeticiones cada uno, dando un total de 36 unidades experimentales, en las cuales se aplicó estiércol y aserrín como enmienda a las plantaciones del maíz (*Zea mays*) que se tomó como indicador en la reducción de Hidrocarburos Totales de Petróleo, la experimentación se realizó por un periodo de 2 meses, dando como resultado que el tratamiento con aplicación de estiércol y aserrín en promedio redujo en 22.5 % el contenido de TPH en el suelo. Finalmente se valida que el maíz es un buen indicador en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos a través de sus variables de altura, peso foliar y peso radicular.
  
- Geronimo & Vasquez, (2017) en la investigación “*Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos*”, evaluó la remoción de TPH en la biorremediación aeróbica asistida con lodos residuales originados en la PTAR de Manchay como fuente de nutrientes. Se experimentó a escala laboratorio en la provincia constitucional del Callao durante 90 días, simulando la contaminación de petróleo crudo en suelos amazónicos. Se encontraron remociones para TPH F2 y F3 de 46% y 49% respectivamente. Se recomienda finalmente el uso de lodos activados para el tratamiento de hidrocarburos en suelo.
  
- Pablo, (2007) en el trabajo de investigación “*Aplicación de Biorremediación ante derrames de Petróleo en la Selva*”. en el cual se detalla los impactos ambientales en los suelos por el derrame de petróleo; además de listar y profundizar técnicas de remediación, de acuerdo con el tipo tratamiento como las físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas. Adicionalmente que tipo de tratamiento expuesto elegir de acuerdo con la magnitud, el ambiente impactado, las

propiedades y características del suelo, y del contaminante. También resalta la eficacia e importancia de los tratamientos biológicos, así como de los nutrientes orgánicos que ayudan a estimular la abundancia de microorganismos que favorecen la degradación de contaminantes químicos presentes.

### **2.1.2. Internacional**

- Han et al., (2016) en la investigación *“Combinación de enmienda biochar y fitorremediación para la eliminación de hidrocarburos en suelos contaminados por petróleo”*, donde investigó cuatro tratamientos diferentes para remediar suelos contaminados por petróleo; aplicó la atenuación natural, enmienda de biochar, fitorremediación usando el ryegrass y la combinación de ryegrass con el biochar. Esta investigación se realizó en macetas por un periodo de 90 días, donde arrojó resultados positivos en el uso de ryegrass que tiene una significativa tasa de eliminación de 55.13% de Hidrocarburos Totales de Petróleo; esto permitió comprobar que el uso de plantas en la remediación de suelos contaminados por petróleo es eficiente, además de que ayuda a promover el crecimiento de microorganismo debido que las actividades microbianas del suelo tienen un fuerte impacto en la efectividad de la fitorremediación.
- Liao et al., (2015) en el artículo científico *“Acumulación de Hidrocarburos por Maíz (Zea mays L.) en la remediación de suelos Contaminados con Petróleo Crudo”*, este experimento se realizó en macetas durante 60 días realizando el trasplante de plántulas de maíz en suelos con nutrientes. La reducción del hidrocarburo total de petróleo en el suelo plantado fue de hasta 52.21–72.84%, mientras que la de los controles correspondientes fue de solo 25.85–34.22% en dos meses. Además, los datos de los índices fisiológicos y bioquímicos demostraron una adaptabilidad favorable del maíz al estrés por contaminación del petróleo crudo. Este estudio sugirió que el uso de maíz (*Zea mays L.*) era una

buena opción para la remediación de suelos contaminados con petróleo dentro de un cierto rango de concentraciones.

- Adekunle, (2011) en su investigación *“Biorremediación de Suelos contaminados con productos Petrolíferos Nigerianos utilizando desechos municipales compostados”*, evaluó la eficiencia de la aplicación de desechos municipales orgánicos compostados en la degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) en suelos contaminados con productos petrolíferos (petróleo crudo, diésel y aceite de motor gastado). Además, estudió el efecto de las relaciones de compost: suelo y el efecto combinado de la técnica de compost-fitorremediación. Los resultados mostraron las reducciones en TPH mediante tecnología de compost variaron del 40% al 75.87%. Además, se utilizó al maíz para realizar pruebas de fitotoxicidad, debido que en las pruebas realizadas este resultó ser más resistente a la inhibición de la germinación de semillas. Este estudio reveló que los desechos compostados listos para usar tienen el potencial para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo y productos derivados del petróleo.
- Liao et al., (2016) en la investigación *“Fitorremediación mejorada con biosurfactantes de suelos contaminados por petróleo crudo utilizando maíz (Zea mays. L)”*, se experimentó en macetas dos biosurfactantes (rhamnolípidos y lecitina de soja) y un tensioactivo sintético (Tween 80) para facilitar la fitorremediación del suelo contaminado con petróleo crudo por el maíz (*Zea mays. L*). El rhamnolípidos y la lecitina de soja mejoraron la población microbiana del suelo, lo que resultó en una mayor eliminación de los hidrocarburos de petróleo totales del suelo. Al final de la remediación del suelo, la proporción de hidrocarburos saturados en los TPH disminuyó, pero aumentaron los del hidrocarburo aromático y la fracción de asfaltenos / polar. En resumen, el tratamiento con biosurfactantes y el crecimiento del maíz es una buena tecnología alternativa para la remediación de suelos contaminados con petróleo.

- Besalatpour et al., (2010) en el artículo “*Recuperación de un Suelo Calcáreo contaminado con Petróleo usando Fitoestimulación*” se investigó la degradación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en la rizosfera de festuca alta (*Festuca arundinacea* L.), agropyron (*Agropyron smithii* L.), cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) a tres niveles de contaminación del suelo, denotados como C0 (<50 mg kg<sup>-1</sup> TPH), C1 (40360 mg kg<sup>-1</sup> TPH) y C2 (69760 mg kg<sup>-1</sup> TPH). El rendimiento de materia seca disminuyó con el aumento del nivel de contaminación en las cuatro especies de plantas. La concentración de TPH disminuyó en 71 y 69% en el tratamiento con C1 y en 45 y 42% en el tratamiento con C2 en el suelo rizosférico de agropyron y festuca alta, respectivamente. El girasol no tuvo un efecto significativo sobre la degradación de los hidrocarburos de petróleo contaminantes en comparación con el control sin plantas. De acuerdo con estos resultados, el agropyron y la festuca alta parecen ser opciones adecuadas para la fitorremediación de los suelos contaminados con petróleo investigados.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Hidrocarburos de Petróleo**

Los hidrocarburos de petróleo se componen principalmente de proporciones variables de carbono e hidrógeno. Sin embargo, también contienen nitrógeno, azufre y oxígeno en alguna cantidad (Varjani, 2017). Presentándose en la naturaleza como gases, líquidos, grasas y, a veces, sólidos. El petróleo crudo y el gas natural, que son una combinación de diferentes hidrocarburos, son sus principales representantes (SNMPE, 2015).

## Clasificación

Varjani, (2017) clasifica a los hidrocarburos de petróleo en cuatro grandes fracciones: los compuestos alifáticos o saturados, los compuestos aromáticos (hidrocarburos anillados), los asfáltenos y las resinas.

**Alifáticos:** Los hidrocarburos alifáticos son saturados o insaturados, y las estructuras de cadena abierta lineales o ramificadas tales como n-alcenos, iso-alcenos, ciclo alcenos (naftenos), terpenos y esteranos. Los n-alcenos están divididos en cuatro grupos de pesos moleculares: (a) alcenos gaseosos, (b) hidrocarburos alifáticos de menor peso molecular (C8-C16), (c) hidrocarburos alifáticos con peso molecular medio (C17-C28) y (d) Hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular (> C28).

**Aromáticos:** Son moléculas de hidrocarburo anilladas. Se distribuyen principalmente como (a) hidrocarburos aromáticos monocíclicos (MAH) a saber BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y (b) hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Los HAP contienen más de un anillo de benceno y los que están formados por dos o tres anillos cíclicos que forman varias cadenas hexagonales con enlaces dobles tales como naftaleno (dos anillos), fenantreno y antraceno (trenzado) se denominan de bajo peso molecular o HAP ligeros. Los HAP formados por cuatro anillos y por encima, como pireno y criseno (cuatro anillos), fluoranteno y benzopireno (cinco anillos) se denominan HAP de alto peso molecular o pesado.

**Resinas:** Las resinas contienen numerosos grupos funcionales polares formados con Nitrógeno (N), Azufre (S) y Oxígeno (O), y metales traza (Ni, V, Fe). Las resinas son sólidos amorfos y verdaderamente disueltos en aceite. Las resinas contienen compuestos aromáticos con cadena alquílica larga y son solubles en n-heptano y n-pentano. Son

estructuralmente similares a las moléculas tensioactivas en el petróleo crudo y actúan como agentes peptizantes.

**Asfáltenos:** Los asfáltenos como las resinas contienen numerosos grupos funcionales polares. Son moléculas de color marrón oscuro, grande y complejo que se dispersan coloidalmente en compuestos saturados y aromáticos. Son solubles en hidrocarburos aromáticos ligeros tales como benceno y tolueno. Los asfáltenos son compuestos viscosos y de alto peso molecular compuestos de grupos policíclicos, sustituidos de forma variable con grupos alquilo, lo que contribuye a su resistencia a la biodegradación. Los agentes peptizantes, es decir, las resinas mantienen los asfáltenos en suspensión, promoviendo con ello la estabilidad del aceite crudo.

Gkorezis et al.,(2016) hace mención a una clasificación en dos categorías: la gama gasolina orgánico (GROs) y la gama diésel orgánico (DROs). GROs incluyen hidrocarburos monoaromáticos como el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX), y alcanos de cadena corta (C6-C10) con puntos de ebullición bajos (60 – 170 °C) como isopentano, 2, 3-dimetil butano, n-butano, y pentano. DROs incluyen alcanos de cadena más larga (C10-C40) y químicos hidrofóbicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH).

### Toxicidad

Los contaminantes de los hidrocarburos son uno de los contaminantes orgánicos persistentes; debido a su biomagnificación causan daños extensos y/o permanentes a los ecosistemas. Muchos constituyentes de crudo de petróleo son recalcitrantes y altamente tóxicos debido a la presencia de componentes hemotóxicos, carcinógenos y teratogénicos tales como BTEX y HAP (Varjani, 2017). La contaminación del suelo con hidrocarburos causa daños extensos al sistema local ya que la

acumulación de contaminantes en animales y tejido vegetal puede causar la muerte o mutaciones (Das & Chandran, 2011).

La exposición prolongada puede iniciar daños perjudiciales al sistema nervioso central en humanos y animales, puede provocar una disfunción del sistema respiratorio, alterar el sistema endocrino y, como resultado, aumentar considerablemente la probabilidad de cáncer de pulmón, piel, vejiga, hígado y riñón (Gkorezis et al., 2016).

Adekunle, (2011) menciona que la liberación de estos compuestos de petróleo en el suelo deteriora la calidad y se informa que su persistencia en el suelo ejerce toxicidad para las plantas, influyendo en procesos tales como desarrollo de raíces, absorción de agua en el suelo por plantas, estrés hídrico y deficiencia de nutrientes. También es importante debido al daño potencial a la flora y la fauna naturales; los hidrocarburos del petróleo se bioacumulan, y poseen la capacidad de concentrarse en la escala trófica. Por lo tanto, constituyen una amenaza para la salud de las plantas, los animales y los humanos.

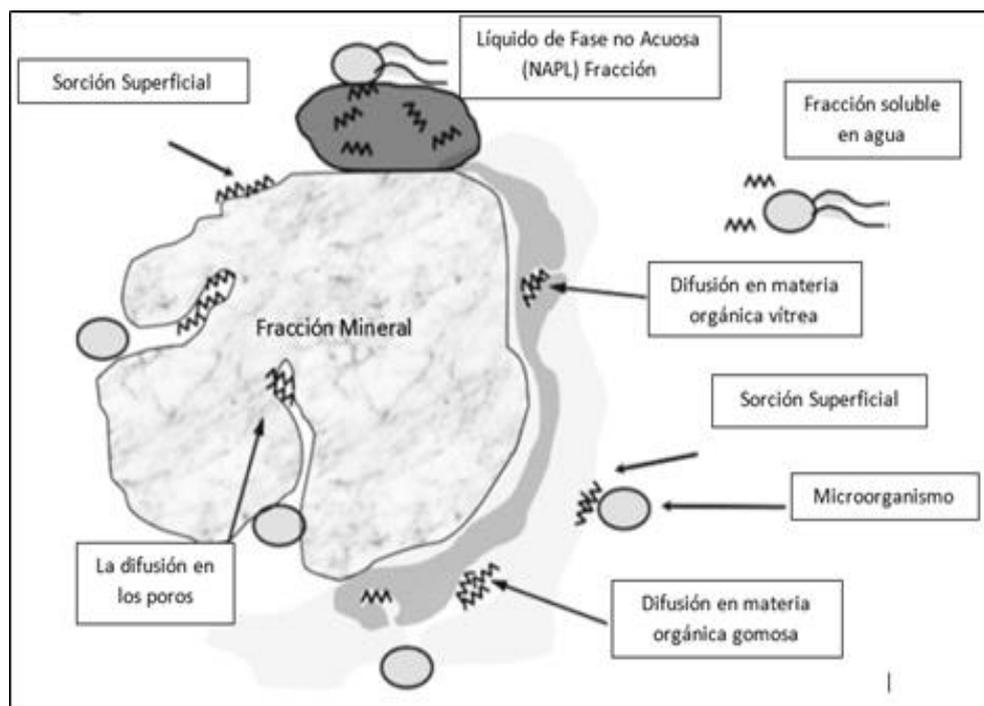
#### Interacción entre el Suelo y los Hidrocarburos

De acuerdo Chikere (2011) el suelo está compuesto de componentes orgánicos e inorgánicos separados por poros que contienen agua o aire. La interacción entre los hidrocarburos y las superficies minerales (arcilla, limo y arena) solo es significativa cuando el contenido de materia orgánica es <0.1%. La materia orgánica en el suelo es muy importante en el destino y el comportamiento de los contaminantes orgánicos; esta se divide en dos fases distintas: (1) carbono blando (gomoso) que es la estructura expandida y flexible que tiene ácidos húmicos y fúlvicos como componentes clave con sorción descritos como irreversibles, y (2) carbono duro (vidrioso) definido como rígido, estructuras condensadas con humin, kerógeno y carbonos pirogénicos como componentes

comúnmente identificados. La sorción de hidrocarburos dentro de la región vítrea se caracteriza por un secuestro irreversible.

Los hidrocarburos alifáticos pueden dividirse fuertemente en materia orgánica y difundirse en la estructura tridimensional de la materia orgánica. Los hidrocarburos pueden ser secuestrados en el suelo a través de la absorción a la materia orgánica y las fracciones minerales y / o difundirse en la estructura tridimensional del suelo (Figura N° 2.1). Para los aromáticos, su destino en el suelo depende en gran medida de su tamaño molecular, es decir, el número de anillos aromáticos.

**FIGURA N° 2. 1– POSIBLES INTERACCIONES ENTRE LAS MATRICES DEL SUELO Y LOS HIDROCARBUROS**



Fuente: Chikere et al., (2011)

## 2.2.2. Compost

### Definición

Es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido

descompuestos bajo condiciones controladas. Este abono también se le conoce como "tierra vegetal" o "mantillo"; es importante mencionar que la calidad depende de los insumos (Figura N° 2.2) que se han utilizado (tipo de estiércol y/o residuos vegetales), pero en promedio tiene 1,04% de Nitrógeno (N), 0,8% Fósforo (P) y 1,5% Potasio (K). Puede tener elementos contaminantes si se ha utilizado basura urbana. El compost es apreciado en los viveros, para realizar diversos tipos de mezclas con arena y tierra de capote que sirven para realizar almácigos de hortalizas, flores, arbustos o árboles. (Velasquez, 2001).

### FIGURA N° 2. 2 – INSUMOS PARA LA PREPARACIÓN DE COMPOST



Fuente: Agrobanco, (2012)

#### Beneficios e Importancia del Compost

De acuerdo con lo mencionado por Álvarez, (2003) los beneficios de la aplicación del compost en el suelo son los siguientes:

- Contiene una gran reserva de nutrientes que poco a poco entrega a las plantas.

- Al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, aumenta su estabilidad y así se evita la erosión y la desertificación.
- Su utilización amortigua el peligro que supone para el suelo y el agua subterránea la aplicación abusiva de fertilizantes químicos de la agricultura convencional, absorbiendo los sobrantes.
- Se produce también con la aplicación del compost el secuestro del carbono en suelo. Es de resaltar cómo esta actuación es capaz de contribuir en mayor grado a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, frente a la valoración energética de los subproductos iniciales de los que se parte para su producción.
- Es un hecho ya probado que la materia orgánica bien compostada puede presentar propiedades fitosanitarias de carácter sorpresivo para determinadas enfermedades de las plantas.

Además el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) mediante Canihua et al. (2015), en su boletín de “Elaboración de Compost” destaca su importancia en los siguientes puntos:

- Favorece la formación y estabilización de la estructura del Suelo.
- Estimula e incrementa la actividad microbiana en el suelo.
- Mejora la retención de humedad en el suelo.
- Mejora la acción del aire en el suelo. El compost aumenta la porosidad de los suelos.
- Favorece la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- Mejora la fijación de nitrógeno. El compost permite el desarrollo de pequeños organismos que ayudan a la formación y fijación del nitrógeno.
- Incrementa la resistencia y desarrollo de las plantas, ante el ataque de plagas y factores climáticos.
- Contribuye en la reducción de contaminantes en el suelo.

### Factores que determinan la Calidad del Compost

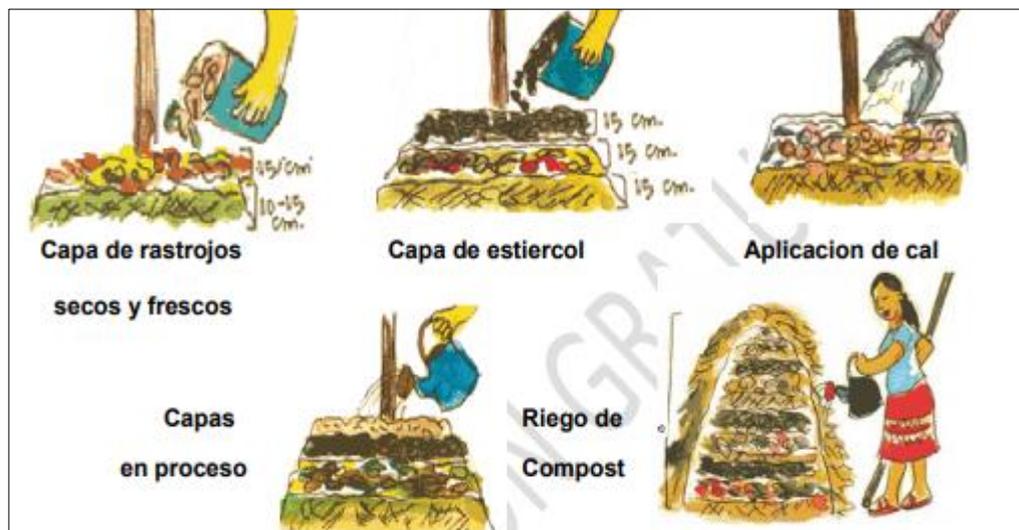
- Temperatura: Óptima entre 35 - 55 °C
- Humedad: la adecuada a 40 - 60%
- pH: entre 6.0 - 7.5
- Relación C/N: Óptima es de 25 - 35
- Oxígeno: en presencia de aire.
- Población microbiana: bacterias, hongos y actinomicetos.

### Fases de preparación de Compost

Román, Martínez, & Pantoja (2013) en el Manual de Compostaje del Agricultor describe que la preparación de compost como un proceso biológico que se realiza en presencia de oxígeno (aeróbica); además se resalta que se debe considerar la humedad y temperatura adecuada con la finalidad de que los restos orgánicos se pueda transformar en un material asimilable y homogéneo para las plantas (Figura N° 2.3).

Los microorganismos con la presencia de oxígeno utilizan el nitrógeno (N) y carbono (C) con la finalidad de producir biomasa, desprendiendo calor medible esto a través de variaciones de temperatura a lo largo del proceso. A partir de las variaciones de temperaturas medidas en el proceso se identifican cuatro (04) fases (Figura N° 2.4) las cuales son:

**FIGURA N° 2.3 – PREPARACIÓN DE COMPOST**



Fuente: Agrobanco, (2012)

### **Fase Mesófila**

El proceso de elaboración de compost comienza a temperatura ambiente y en unos días (u horas) la temperatura puede llegar a los 45 °C. El aumento de temperatura es causado por la actividad microbiana que utiliza las fuentes de Carbono (C) y Nitrógeno (N). La descomposición de compuestos solubles por ejemplo azúcares va producir ácidos orgánicos provocando una disminución del pH (4.0 – 4.5). Esta fase puede durar entre dos (02) y ocho (08) días.

### **Fase Termófila**

Al alcanzar las temperaturas de 45 °C los microorganismos de la fase Mesófila son reemplazados por aquellos que se desarrollan a mayores temperaturas, estos van actuar en la degradación de fuentes de carbonos más complejas por ejemplo la lignina y la celulosa.

Los microorganismos comienzan transformando el nitrógeno en amoníaco provocando que el pH aumente. A partir de 60°C comienzan aparecer bacterias que producen esporas y actinobacterias que tienen la función de descomponer hemicelulosa, ceras entre otros compuestos

de Carbono (C) complejos. Esta fase puede durar desde días a meses dependiendo de los materiales utilizados, así como las condiciones del climáticas y ambientales, entre otros más factores.

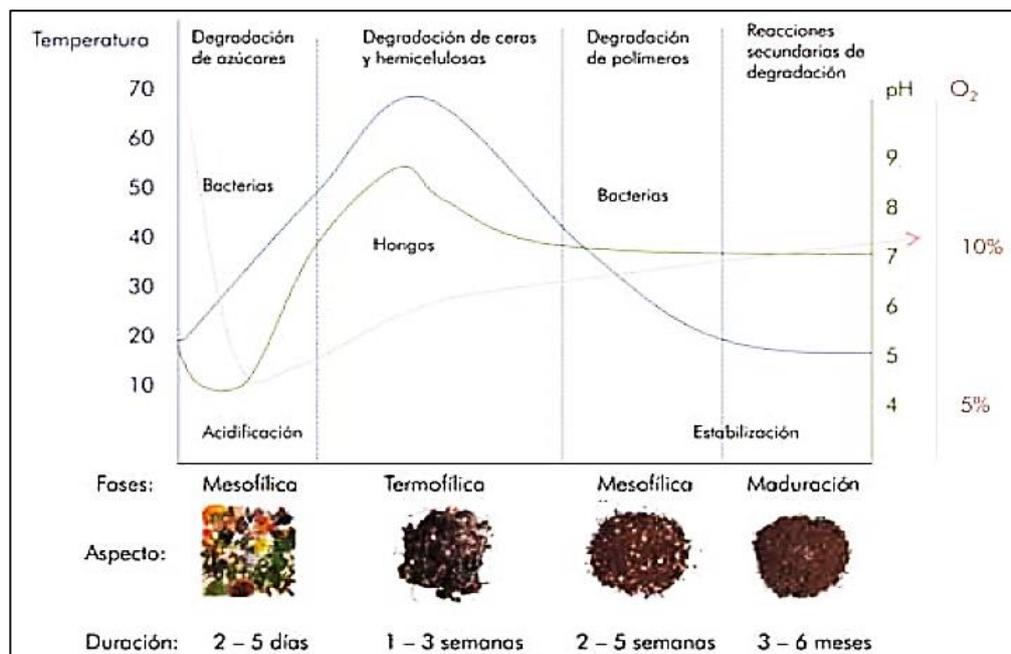
### Fase de Enfriamiento o Mesófila II

Las fuentes de carbono (C) y principalmente nitrógeno (N) se agotan en la preparación del compostaje, provocando la disminución de la temperatura en un rango de 40 °C – 45 °C. En esta fase se mantiene la degradación de compuesto de Carbono (C) y también se evidencia la presencia de hongos; además como consecuencia de la disminución de la temperatura los microorganismos mesófilos reinician su actividad provocando un descenso levemente del pH. Esta fase requiere de varias semanas y se puede confundir con la fase de maduración.

### Fase de Maduración

Este periodo final dura varios meses a temperatura ambiente, donde se produce reacciones de condensación y polimerización de compuestos carbonados para formación de ácidos Húmicos y Fúlvicos.

**FIGURA N° 2. 4 – FASES DEL COMPOSTAJE**



Fuente: Román, Martínez, & Pantoja (2013)

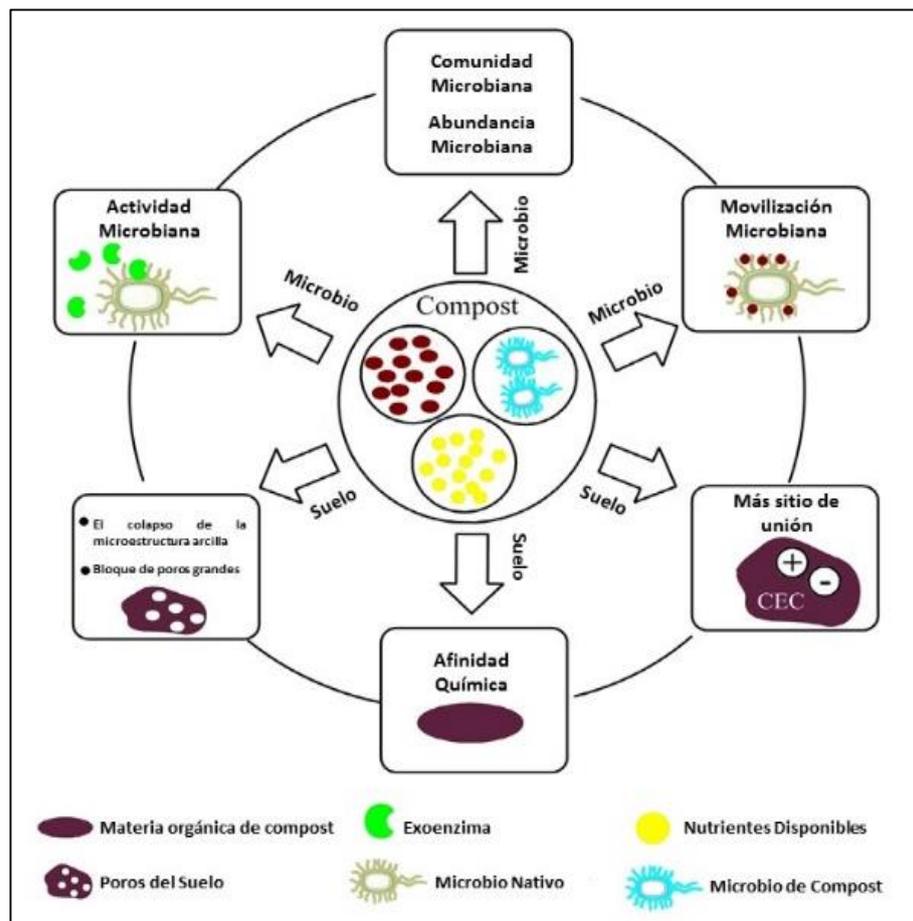
## Efectos del Compost en la Remediación de Suelos con presencia de Contaminantes Orgánicos

En la investigación realizada por Ren (2018) en la cual analiza a profundidad el impacto que tiene la adición de compost en la degradación de contaminantes orgánicos en el suelo, hace un hincapié importante tanto en la mejora de suelos, fuente de materia orgánica y su capacidad de estimular actividades de microorganismo (Figura N° 2.5). Lo más resaltante y de importancia se menciona a continuación:

- La materia orgánica en el compost que se encuentra disponible para los microorganismos, contribuyó mucho a su crecimiento; así como la disponibilidad de fuentes de carbono y nutrientes. También se ha demostrado que las adiciones de compost ajustaban la relación Carbono (C): Nitrógeno (N) en el suelo y, por lo tanto, aumentaban la biomasa microbiana.
- La estimulación de los microorganismos nativos del suelo por los nutrientes del compost y la materia orgánica, junto con los microorganismos recién inoculados del compost, mejoran la actividad microbiana del suelo, lo que podría promover la degradación de contaminantes
- El compost mejora la estabilidad de los agregados del suelo contaminado, ya sea floculando las partículas del suelo con materia orgánica o aumentando la actividad microbiana del suelo acompañada de la producción de mucílago que podría beneficiar la formación de microagregados del suelo. La mejora de la estabilidad estructural aumenta la porosidad del suelo y, posteriormente, la aireación del suelo, lo que es favorable para el desarrollo de los microorganismos.
- El compost mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo en términos de disminución de la densidad aparente y la capacidad de

erosión del suelo, aumentando la capacidad de retención de agua, la estabilidad de los agregados y la capacidad de intercambio catiónico (CEC). En cuanto al pH del suelo, las adiciones de compost generalmente actúan como ajustadores del pH por la ventaja de las sustancias húmicas que son ricas en grupos funcionales ácidos.

**FIGURA N° 2. 5 – EFECTOS DEL COMPOST EN LOS SUELOS CONTAMINADOS POR COMPUESTOS ORGÁNICOS**



Fuente: Ren (2018)

Es importante esta consideración debida que se menciona estudios donde la degradación de hidrocarburos en un suelo natural fue mínima o insignificante, pero la adición de compost promovió la eliminación de más del 80% en un tratamiento de 50 días.

### **2.2.3. Uso de las Plantas en la Remediación de Suelos Contaminados**

El uso de plantas y sus microorganismos asociados para asimilar, transformar, metabolizar, desintoxicar y degradar varios compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (p. Ej. PHC, pesticidas, tintes, solventes) que se encuentran en el suelo, agua, aguas subterráneas y aire, es generalmente considerado como un enfoque de remediación ambientalmente amigable, rentable y socialmente aceptado (Gkorezis et al., 2016).

Das & Chandran, (2011) resaltan la importancia de las plantas como una tecnología emergente para gestionar una amplia variedad de problemas de contaminación ambiental, incluida la limpieza de suelos y aguas subterráneas contaminadas con hidrocarburos y otras sustancias peligrosas.

#### Importancia

El uso de plantas estimula la actividad de microorganismos en la zona de las raíces, se ha propuesto como un enfoque para promover la degradación de los hidrocarburos de petróleo y por lo tanto la remediación de suelos contaminados con petróleo (Asadollahi et al., 2016). La acción colectiva de las plantas y sus microorganismos asociados es ventajosa para la remediación del suelo contaminado con Hidrocarburos de Petróleo (Gkorezis et al., 2016).

La importancia del uso de plantas para la remediación de suelos es debido que las tecnologías convencionales físicas y químicas de limpieza in situ y ex situ para la remediación de Hidrocarburos de Petróleo implican la excavación, el barrido de aire, la eliminación y el tratamiento fuera del sitio en biopilas, bombeo y tratamiento, incineración, reactores de fase sólida y en suspensión, lavado de suelo, suelo extracción de vapor, dosificación de asfalto, desorción térmica, oxidación química, hidrólisis y fotólisis. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que estas estrategias son caras, y a menudo sólo resultan

en una descomposición incompleta de los contaminantes de preocupación (Gkorezis et al., 2016).

Das & Chandran, (2011) mencionan que el uso de planta puede ser rentable (a) para sitios grandes con niveles residuales superficiales de contaminación por contaminantes orgánicos, nutrientes o metales, donde la contaminación no representa un peligro inminente y solo se requiere un "tratamiento de pulido"; (b) donde la vegetación se usa como límite final y cierre del sitio. Durante los últimos años han proporcionado mucha información útil que puede utilizarse para diseñar sistemas de remediación efectivos e impulsar mejoras e innovaciones. En la tabla N° 2.1 se listan algunas ventajas y desventajas del uso de las plantas en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

#### Acción de las Planta en la Remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos de Petróleo

De acuerdo a Gkorezis et al. (2016), para sobrevivir y prosperar en ambientes contaminados con hidrocarburos de petróleo, las plantas deben exhibir: (i) tolerancia a uno o más componentes de las mezclas de petróleo, (ii) alta competitividad, (iii) crecimiento rápido y (iv) la capacidad de producir y segregar enzimas degradadoras de hidrocarburos.

La toxicidad de los contaminantes en la vegetación nativa o introducida puede inhibir la germinación de las semillas, reducir la producción de pigmentos fotosintéticos, el crecimiento compactado de los tejidos (raíz, partes aéreas), la asimilación de nutrientes y la alteración de la arquitectura de las raíces. Por lo tanto, la selección de plantas con mayor tolerancia a los contaminantes, producción de suficiente biomasa de raíces y brotes, idoneidad para varios tipos de suelos, mecanismos efectivos de absorción de contaminantes y capacidades metabólicas

apropiadas para degradar contaminantes orgánicos son requisitos previos para la remediación exitosa.

La respuesta fisiológica en la altura de plantas y diámetro del tallo de acuerdo a Liao (2015) que en su experimentación reportó que las plantas a ciertas concentraciones de hidrocarburos, estos pueden aumentar e incluso podría mejorar y estimular el crecimiento de plantas. Además de influir en la comunidad bacteriana las cuales ayudan y promueven el crecimiento de plantas. Se menciona que una mayor producción de biomasa y un sistema de raíces robusto fueron importantes para que las plantas tengan éxito en la remediación de suelos contaminados. Por su parte Asadollahi (2016) reportó que la inhibición de la germinación de las semillas y la reducción del crecimiento de maíz, trigo y frijol en el suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo.

Después de ser transportados dentro de la planta, los Hidrocarburos de Petróleo pueden ser secuestrados en el tejido radicular o transportados a brotes y hojas, donde pueden almacenarse en vacuolas o volatilizarse a la atmósfera. Diferentes investigaciones realizadas con plantas para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo (Tabla N° 2.2).

**TABLA N° 2. 1 – VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PLANTAS EN LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Costo relativamente bajo	Tiempos de remediación más largos
Implementado y mantenido fácilmente	Dependiente del clima
Varios mecanismos para eliminar	Los efectos en la red trófica pueden ser desconocidos
Amigable con el medio ambiente	El destino último de los contaminantes podría ser desconocido
Estéticamente agradable	Los resultados son variables
Reduce los desechos depositados	
Material vegetal cosechable	

Fuente: Das & Chandran, 2011

**TABLA N° 2. 2 - IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS EN LA  
REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS**

Tipo de planta	Especies de plantas	Contaminantes	Concentración del contaminante inicial	Duración del proceso	Máxima eficiencia de eliminación (%)
Planta ornamental	<i>Mirabilis Jalapa</i> L.	Petróleo	5 g / kg	127 días	63,2%
Las legumbres, pastos	<i>Mucunoides Calopogonium</i> , <i>Centrosema brasilianum</i> , <i>Stylosanthes capitala</i> , <i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Cyperus aggregatus</i> , <i>Eleusine indica</i>	Petróleo crudo	5 w / w%	180 días	57.69% ( <i>Eleusine indica</i> )
Carrizo, la alfalfa	<i>Phragmites australis</i> , <i>Medicago sativa</i>	Betún	79,7 g / kg	27 meses	82% (Reed)
Planta no comestible	<i>Jatropha curcas</i>	Aceite lubricante	1 w / w%	180 días	67,3%
Planta no comestible	<i>Hibiscus cannabinus</i>	Aceite lubricante	1 w / w%	90 días	91,8%
Soporte de sauce	<i>Salix viminalis</i> L.	El aceite mineral y HAP	245,2 mg / kg	1,5 años	57%
Planta de rescate de altura	<i>Festuca arundinacea</i>	Petróleo	50 g / kg	120 días	50%
La alfalfa, caña	<i>Medicago sativa</i> , <i>Phragmites australis</i>	Betún	79,7 g / kg	27 meses	82%
pasto tropical	<i>Brachiaria brizantha</i>	Petróleo crudo	5 w / w%	22 semanas	18,4%
Endófitos infectados y no infectados hierbas	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb., <i>Festuca pratensis</i> Huds.	Petróleo	4700 mg / kg	7 meses	72% (Infectado hierbas endófitos)
Las plantas no comestibles	<i>Dracaena reflexa</i> modificado con residuos orgánicos 5%	Diesel	1 w / w%	270 días	99%
Raigrás perenne	<i>Lolium perenne</i> L.	Diesel	50 g / kg	90 días	57,3%
Mangle negro	<i>schaueriana Avicennia</i>	aceite de parafina ligero	32,2 mg / g	90 días	87%
Arbusto herbáceo	<i>Bassia scoparia</i> (L.) AJ Scott (Chenopodiaceae)	Petróleo crudo	40 g / kg	5 meses	Hasta 57,7%

Fuente: Lim et al. (2016)

### Limitaciones

Lim et al. (2016), indica que es un proceso de corrección lento, y sólo podría ser considerada como una solución a largo plazo. Además, es un proceso complicado con muchos parámetros externos que podrían afectar el éxito, como el tipo y la concentración del contaminante, los

parámetros del suelo, contenido de agua, concentración de nutrientes, el tipo de plantas, características de la planta, resistencia de la planta a los efectos fitotóxicos y otros factores que podrían afectar crecimiento de la planta.

El principal reto es la búsqueda de especies de plantas que pudieran soportar la toxicidad de los contaminantes orgánicos, debido a la toxicidad de los hidrocarburos provoca impactos negativos para el crecimiento vegetal, que incluye la inhibición de la germinación de las semillas, la reducción en la absorción de nutrientes, raíces acrobacias de plantas y perjudica a los pigmentos fotosintéticos.

#### **2.2.4. Zea mays (Maíz)**

El maíz (*Zea mays ssp.*) es una especie que se caracteriza por su gran potencial de uso, gracias a su amplia diversidad genética. Botánicamente, el maíz es una planta alógame, monoica y con polinización típicamente influenciada por el viento (Hernández-Ramos et al., 2017).

La capacidad de *Zea mays* para desintoxicar los sitios contaminados por metales pesados se conoce y esta planta ha sido recientemente incluido en la lista de especies de plantas que potencialmente pueden ser utilizados en la fitorremediación de contaminantes orgánicos (Barone et al., 2016).

En nuestro país se cultivan dos tipos de maíz con mayor predominancia: el blanco amiláceo, casi en su totalidad en la sierra, y el amarillo duro, en la costa, valles interandinos y selva (Ruíz et al., 2006).

## Siembra y Cultivo de Maíz

### **Trabajos Previos**

Antes de iniciar la siembra es recomendable aplicar un riego de machado o riego pesado, con la finalidad de retener la mayor cantidad posible de agua, para permitir que en el futuro las raíces del maíz se desarrollen en forma normal y con una amplia cabellera que le ayude a absorber agua y nutrientes del suelo.

### **Épocas de Siembra**

En todas las regiones maiceras hay una época de siembra dentro del cual se debe de ajustar la mejor fecha de siembra para que el híbrido exprese su potencial de rendimiento y calidad de grano. En los diferentes departamentos de la Costa Norte del Perú se puede sembrar maíz amarillo duro durante todo el año. Pero las mejores siembras de invierno son entre los meses de marzo a julio y de octubre a diciembre para siembra en verano.

### **Densidad de Siembra**

Un buen método de siembra es aquel que permite colocar a la semilla a una profundidad moderada (5 a 7 cm), se debe colocar 2 a 3 semillas por golpe.

El distanciamiento más recomendado es el siguiente:

- Entre surcos: 80 – 90 centímetros
- Entre plantas: 50 – 60 centímetros
- Requerimiento de Fertilizante

En el cultivo del maíz existen etapas donde se extrae algunos nutrientes en mayor cantidad que otros, de esta manera se observa que la mayor demanda de nutrientes se da entre los 30 y 60 días después de la siembra, siendo el más adecuado para la fertilización de los elementos

móviles como el Nitrógeno (N) en los primeros 30 días, al final de los 90 días se ha completado cerca de 88% de sus necesidades de N, 74% de Fosforo (P), 100% de Potasio (K) y el 90% de Magnesio (Mg) respectivamente (Tabla N° 2.3).

**TABLA N° 2. 3 – ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DURANTE EL CICLO VEGETATIVO DEL MAÍZ**

Nutrientes	Periodo			
	0-30 días	30-60 días	60-90 días	90-120 días
<b>N</b>	<b>2,5</b>	<b>38,5</b>	<b>47,0</b>	<b>12,0</b>
<b>P</b>	<b>1,0</b>	<b>26,5</b>	<b>46,5</b>	<b>26,0</b>
<b>K</b>	<b>4,4</b>	<b>66,0</b>	<b>29,6</b>	<b>-13,5</b>
<b>Ca</b>	<b>4,6</b>	<b>49,2</b>	<b>46,2</b>	<b>0</b>
<b>Mg</b>	<b>1,5</b>	<b>46,5</b>	<b>42,0</b>	<b>10,0</b>

Fuente: Agrobanco, (2010)

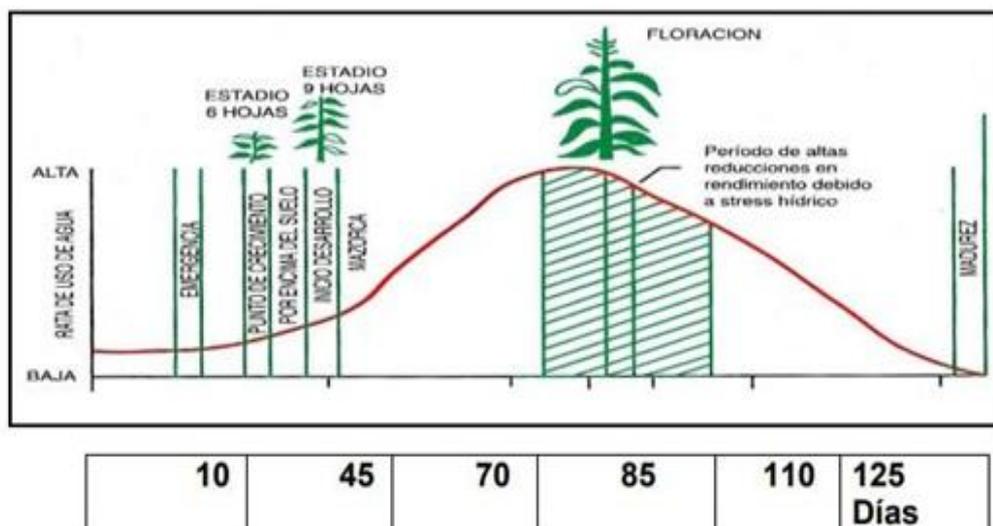
### **Riego en el Cultivo de Maíz Amarillo Duro**

El maíz utiliza 7000 m<sup>3</sup> por hectárea en forma convencional (por gravedad) y cuando se utiliza el sistema de tecnificado riego por goteo, el consumo de agua es de 3,000 a 3,500 m<sup>3</sup>.

Se puede resumir la necesidad de agua del maíz es en forma decreciente, por lo general se observa en la Figura N° 2.6, cómo utiliza la planta de maíz el agua de riego, utilizando en una mayor cantidad a inicios de floración, que es donde la planta tiene una mayor demanda también de nutrientes. (Agrobanco, 2010)

Uno de los aspectos más importantes es el riego, en la Tabla N° 2.4 de abajo se indican las cantidades de agua necesarias para el maíz en cada semana del cultivo, el riego puede ir completado con abonos y nutrientes al maíz que permitan mejorar el suelo.

**FIGURA N° 2. 6 – REQUERIMIENTOS DE AGUA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ**



Fuente: Agrobanco, (2010)

**TABLA N° 2. 4 – CANTIDADES DE AGUA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ**

SEMANA	ESTADO	N° RIEGOS	L
1	Siembra	3	42
2	Germinando	3	42
3	Desarrollo primario	3	52
4		3	88
5	Crecimiento	3	120
6		3	150
7		3	165
8	Floración	3	185
9	Polinización	3	190
10		3	230
11	Fecundación	3	200
12	Fecundación del grano	3	192
13		3	192
14		3	192
15		3	190

Fuente: Agrobanco, (2010)

## **2.3. Conceptual**

### **2.3.1. Compost**

Es un abono orgánico de gran valor nutritivo que resulta de la descomposición aeróbica de la mezcla de residuos orgánicos de origen vegetal y animal, con la intervención de los microorganismos del suelo bajo condiciones controladas y es un excelente mejorador de suelos (Canihua et al., 2015).

### **2.3.2. Concentración**

La relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (Ministerio del Ambiente, 2016).

### **2.3.3. Contaminación**

Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud (Ministerio del Ambiente, 2016).

### **2.3.4. Enmienda Orgánica**

Comprende a enmiendas elaboradas a partir de estiércol de ganado, compost y entre otros desechos de origen animal y/o residuos de cultivos. Su eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido comprobada (Román et al., 2013).

### **2.3.5. Fracción de Hidrocarburos F2 o fracción media**

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diésel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros (ECA Suelo - MINAM, 2017).

### **2.3.6. Fracción de Hidrocarburos F3 o fracción pesada**

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos

fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros (ECA Suelo - MINAM, 2017).

#### **2.3.7. Materia Orgánica**

Comprende a los residuos vegetales, animales y microorganismos dentro de diferentes etapas de descomposición, células y tejidos de organismos presentes en el suelo (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

#### **2.3.8. Remediación**

Este término implica la eliminación o reducción, a niveles aceptables, de los riesgos para la salud de las personas o el ambiente asociados a la contaminación del sitio. Además comprende las acciones que permitan lograr el uso posterior del sitio o el restablecimiento del mismo a un estado similar al presentado antes de ocurrir los impactos ambientales negativos (Ministerio del Ambiente, 2017– Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados).

#### **2.3.9. Suelo**

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (ECA Suelo - MINAM, 2017).

#### **2.3.10. Suelo Contaminado**

Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores represente un riesgo a la salud humana o el ambiente (Ministerio del Ambiente, 2016).

#### **2.3.11. *Zea mays* (maíz)**

Es uno de los cultivos de cereales más importantes y es una fuente natural de hidratos de carbono; se ha utilizado para la producción de varios alimentos y productos industriales desde hace varias décadas (Zabed et al., 2016).

### **2.4. Definición de términos básicos**

#### **2.4.1. Aplicación maíz y Compost**

Tratamiento que busca remediar suelos contaminados por hidrocarburos, aprovechando al maíz que puede asimilar y romper cadenas de carbono además de utilizar nutrientes necesarios del compost para poder realizar actividades metabólicas necesarios para poder desarrollarse en un ambiente no convencional.

#### **2.4.2. Atenuación Natural**

Es un proceso natural de suelo sin la intervención de nutrientes, microorganismos o cualquier tratamiento ajeno a la propia actividad inherente del suelo.

#### **2.4.3. Caracterización Inicial de suelos contaminados**

Determinación cuantitativa de parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos presentes en el Suelo sin la aplicación de un tratamiento.

#### **2.4.4. Caracterización final de suelos contaminados**

Determinación cuantitativa de parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos presentes en el Suelo al finalizar la aplicación de un tratamiento.

#### **2.4.5. Compost**

Enmienda orgánica producida por la descomposición de materia orgánica vegetal y animal, y utilizada como el principal aportador de nutrientes (N, P, K) en la presente investigación.

**2.4.6. Concentración Inicial de Hidrocarburos de Petróleo en Suelos Contaminados**

Cantidad de Hidrocarburos de petróleo (mg/kg) presentes en un suelo contaminados sin la aplicación de un tratamiento.

**2.4.7. Concentración Final de Hidrocarburos de Petróleo en Suelos Contaminados**

Cantidad de Hidrocarburos de petróleo crudo (mg/Kg) presentes en el suelo después de la aplicación de un tratamiento.

**2.4.8. Dosis Optima de Compost**

Cantidad de compost que permite suministrar nutrientes necesarios para el crecimiento saludable de la planta y promueve una alta remediación de hidrocarburos de petróleo en el suelo.

**2.4.9. Petróleo Fracción F2 y F3**

Conjunto de hidrocarburos proveniente del petróleo crudo, que son estudiados según la clasificación del ECA Suelos, cuyas cadenas carbonadas van desde C10 al C40.

**2.4.10. Suelo Contaminado**

Suelo franco arenoso proveniente de Piura contaminado con petróleo proveniente de pasivos ambientales originados por la actividad petrolera.

**2.4.11. *Zea mays* (Maíz)**

Planta gramínea utilizada como fuente de biorremediación de contaminantes orgánicos, ya sea por su propia actividad metabólica o por la acción de los microorganismos asociados a su rizoma.

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. General**

Los hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 presentes en suelos contaminados son removidos mediante la aplicación de compost y *Zea mays* (maíz).

##### **3.1.2. Especifico**

- La concentración inicial de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3, y la caracterización del suelo contaminado afecta en el diseño del tratamiento.
- Los nutrientes y la materia orgánica presentes en el compost cumple con los valores establecidos para su aplicación en suelos.
- La mayor dosis de compost aumenta la remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados en la aplicación del tratamiento de compost y *Zea mays* (maíz).
- La menor concentración final de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado aumenta la remoción en la aplicación del tratamiento de compost y *Zea mays* (maíz).

### 3.2. Definición Conceptual de las Variables

- Variable Independiente:

**Aplicación de compost y Zea mays (maíz):** Tecnologías de tratamiento sustentables que utilizan los nutrientes del compost y la capacidad de las plantas para reducir la concentración de contaminantes orgánicos del suelo a partir de procesos metabólicos y bioquímicos.

Indicadores	
Concentración de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo*	mg/Kg
Número de Semillas Germinadas	unid
Altura de la Planta de <i>Zea mays</i> (Maíz)	cm

(\*) Se evaluará al inicio y al final del tratamiento, se considera la concentración de hidrocarburos totales de petróleo debido a que las evaluaciones que se realizaron en 2 tiempos y esa variación nos permite tener un valor cuantificable de la aplicación de compost y *Zea mays*.

- Variable Dependiente:

**Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en suelos contaminados:** Porcentaje de remoción de la concentración de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en suelos cuyas características físicas y químicas, han sido alteradas negativamente.

Indicadores	
Porcentaje de remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo	%

### 3.2.1. Operacionalización de las Variables

Para demostrar la hipótesis anteriormente formulada se operacionalizó cada una de las variables e indicadores; es así como se da la relación causa – efecto:

$$Y = f(x_1)$$

Variable	Dimensión	Indicador
<b>Independiente:</b>  X=Aplicación de compost y <i>Zea mays</i> (Maíz)	Tratamientos propuestos:	Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo.
	M1. Atenuación Natural.	Número de semilla germinadas (und)
	M2. Aplicación de maíz + compost (40% w/w)	Altura de la Planta de <i>Zea mays</i> (cm)
	M3. Aplicación de maíz + compost (50% w/w)	
	M4. Aplicación de maíz + compost (60% w/w)	
<b>Dependiente:</b>  Y=Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en suelos contaminados	Concentración Inicial de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo y Concentración Final de Petróleo fracción F2 y F3.	Eficiencia de remoción  $\frac{\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{Concentración}_{\text{final}}}{\text{Concentración}_{\text{inicial}}} \times 100$

### 3.2.1.1. Definición Operacional de la Variable

- Variable Independiente

***X = Aplicación de compost y Zea mays (maíz).***

Tratamiento en conjunto de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, utilizando al maíz como metabolizador de cadenas de carbono (rompiendo cadenas carbonadas) y el compost como fuente principal de nutrientes necesarios para las actividades metabólicas.

Indicadores:

- Concentración de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo. ( $X_1$ )
- Numero de semillas germinadas ( $X_2$ ).
- Altura de Plantas de *Zea Mays* (Maíz) ( $X_3$ ).

- Variable Dependiente

***Y = Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en suelos contaminados.***

Proceso mediante el cual se va a medir la remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), luego de la aplicación en simultáneo de las tecnologías que usan compost y *Zea mays* (maíz), la cual será evaluada teniendo en consideración la concentración inicial de TPH fracción F2 y F3 del suelo contaminado; y la concentración final de TPH fracción F2 y F3 del suelo contaminado posterior al tratamiento.

La unidad de medida está dada en porcentaje (%), bajo la siguiente fórmula:

$$\frac{\textit{Concentración}_{inicial} - \textit{Concentración}_{final}}{\textit{Concentración}_{inicial}}$$

Indicadores:

- Porcentaje de remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo. (Y<sub>1</sub>)

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Tipo y Diseño de la Investigación

#### 4.1.1. Tipo de Investigación

**Investigación Experimental:** Es de tipo Experimental porque se realiza una intervención en el suelo contaminado mediante la variable independiente [X= Aplicación de compost y *Zea mays* (maíz)] como causa de la variable dependiente [Y= Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en suelos contaminados] como efecto.

#### 4.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación a utilizar será el “Diseño completamente al azar” (DCA) para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos propuestos mediante un análisis de varianza, para ello se utilizará los datos obtenidos del indicador  $X_1$  (Concentración de hidrocarburos fracción F2 y F3 en el suelo).

##### 4.1.2.1. Procedimiento de análisis del DCA

###### 4.1.2.1.1. Procedimiento

- a) Determinar el número de unidades experimentales ( $n$ ) y numerarlas. Es posible obtener “ $n$ ” al multiplicar el número de tratamientos ( $t$ ) por el número de repeticiones ( $r$ ).  $n = (t * r)$ .
- b) Asignar el número de unidades experimentales a cada tratamiento utilizando una tabla de números aleatorios o bien cualquier otra herramienta que sirva para el mismo propósito. Por ejemplo, si cada tratamiento ha de repetirse cuatro veces, los primeros cuatro números aleatorios obtenidos se asignarán al tratamiento A, los siguientes cuatro números aleatorios al tratamiento B, y así sucesivamente.

c) Una vez hecha la distribución anterior se numeran las unidades experimentales y se localizan los tratamientos de acuerdo con el número que les corresponde y se obtiene así las distribuciones de campo.

#### 4.1.2.1.2. Aplicación del análisis del DCA

Primero establecemos la cantidad de tratamientos y repeticiones empleados en la investigación. Luego obtenemos la cantidad de unidades experimentales a realizar multiplicando la cantidad de Tratamiento con las repeticiones. En la Tabla N° 4.1, se presenta los tratamientos empleados en la presente tesis, sus dosificaciones utilizadas y las unidades experimentales realizadas.

**TABLA N° 4. 1 –DOSIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS**

TRATAMIENTOS	DOSIFICACIONES			REPETICIONES
	SC	C	# semillas de Maíz	
<b>M1</b> [SC + M]	4000 gr	0 gr	5	<b>3</b>
<b>M2</b> [SC + C (40%) + M]	4000 gr	1600 gr	5	<b>3</b>
<b>M3</b> [SC + C (50%) + M]	4000 gr	2000 gr	5	<b>3</b>
<b>M4</b> [SC + C (60%) + M]	4000 gr	2400 gr	5	<b>3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12 unidades Experimentales</b>			

**SC:** Suelo contaminado con hidrocarburos, **M:** *Zea mays* (Maíz), **C:** Compost, **C (40%):** Compost al 40% en peso, **C (50%):** Compost al 50% en peso, **C (60%):** Compost al 60% en peso.

Fuente: Elaboración Propia

Luego calculamos los grados de libertad de las fuentes de variabilidad para la aplicación del DCA, según los datos obtenidos en la tabla N° 4.1, los cuales son:

- Número de Tratamientos (T) = 4
- Número de Unidades Experimentales (UE) = 12

En la siguiente Tabla N° 4.2, se presenta los cálculos de los grados de libertad calculados en la tesis para la aplicación del DCA.

**TABLA N° 4. 2 – CÁLCULOS DE GRADO DE LIBERTAD PARA APLICAR EL DCA**

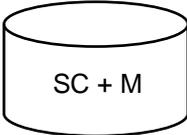
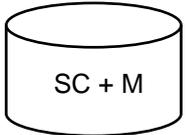
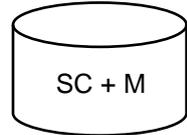
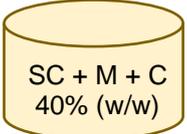
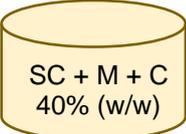
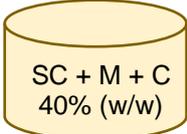
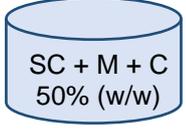
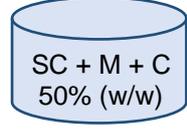
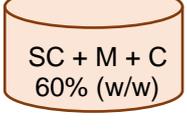
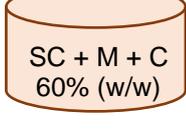
Fuente de Variabilidad	Grado de Libertad (G.L)		
	Fórmula	Cálculo	G.L Resultante
Tratamiento	(T-1)	4 - 1	<b>3</b>
Unidades Experimentales	(UE-1)	12 - 1	<b>11</b>
Error	(T-1) - (UE-1)	11 - 3	<b>8</b>

**T:** Número de Tratamientos **UE:** Número de Unidades Experimentales

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 4.1. se muestra los tratamientos propuestos y las unidades experimentales empleadas

**FIGURA N° 4. 1 – UNIDADES EXPERIMENTALES**

<b>M1:</b> SUELO CONTAMINADO + MAÍZ (BLANCO)			
	M1.1	M1.2	M1.3
<b>M2:</b> SUELO CONTAMINADO + MAÍZ + COMPOST 40% (w/w)			
	M2.1	M2.2	M2.3
<b>M3:</b> SUELO CONTAMINADO + MAÍZ + COMPOST 50% (w/w)			
	M3.1	M3.2	M3.3
<b>M4:</b> SUELO CONTAMINADO + MAÍZ + COMPOST 60% (w/w)			
	M4.1	M4.2	M4.3

**SC:** Suelo contaminado por hidrocarburos, **M:** *Zea mays* (Maíz), **C:** Compost

Fuente: Elaboración Propia

## **4.2. Método de Investigación**

### Método hipotético deductivo

En consecuencia, de inferencias del conjunto de datos empíricos, principios y leyes más generales, el investigador propone una hipótesis.

A continuación, se detallará las fases que se ejecutaron en la tesis. Cabe resaltar que no se preparó suelo contaminado, debido que se recolectó un pasivo ambiental de un suelo con hidrocarburos del departamento de Piura. El compost se obtuvo de la Universidad Agraria la Molina (y no se produjo por el equipo investigador).

### **4.2.1. Fase de Gabinete**

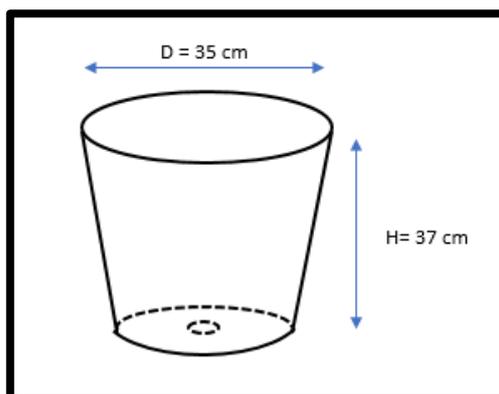
Esta fase comprendió la recopilación de información con relación a la tesis propuesta por un periodo de 3 meses, el cual consistió en buscar la información necesaria en libros, papers y revistas científicas, en referencia a la problemática nacional e internacional de los suelos contaminados con hidrocarburos, analizar los diferentes métodos biológicos de descontaminación investigados, trabajos experimentales con *Zea mays* y compost. Lo cual permitió obtener la información necesaria para elaborar el diseño de la fase experimental.

### **4.2.2. Fase de Pre – Experimental**

#### **A) Diseño e Implementación del Tratamiento**

En la implementación de la tesis se utilizaron quince (15) macetas con capacidad de 7 kg cada una teniendo las siguientes dimensiones Figura N° 4.2:

**FIGURA N° 4. 2 – DIMENSIONES DE MACETA**



Fuente: Elaboración Propia

Se evaluaron cuatro (4) tratamientos y un (01) control vegetativo, teniendo cada uno tres (3) repeticiones. Los tratamientos son los siguientes:

- Control 0 (M0): Suelo Agrícola + Maíz (Blanco Vegetativo)
- Tratamiento 1 (M1): Suelo Contaminado + maíz (Atenuación Natural)
- Tratamiento 2 (M2): Suelo Contaminado + Compost 40% (w/w) + maíz
- Tratamiento 3 (M3): Suelo Contaminado + Compost 50% (w/w) + maíz
- Tratamiento 4 (M4): Suelo Contaminado + Compost 60% (w/w) + maíz

## **B) Caracterización de Suelo y Compost**

El suelo contaminado se recolectó próximo a un pozo petrolero ubicado del distrito de Talara, departamento de Piura; este suelo se tamizó para obtener partículas de 2 mm, y se consiguió alrededor de 60 Kg de suelo contaminado tamizado. Este suelo se caracterizó en los siguientes parámetros: Textura, Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC, Potencial de Hidrógeno-pH, Materia Orgánica-MO, Conductividad Eléctrica-CE, Nitrógeno-N, Fósforo-P, Potasio-K, Hidrocarburos Totales

de Petróleo -TPH y un análisis de metales ICP – OES en un laboratorio acreditado por INACAL (Tabla N° 4.3).

El compost se obtuvo de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

**TABLA N° 4. 3 – FRECUENCIA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS**

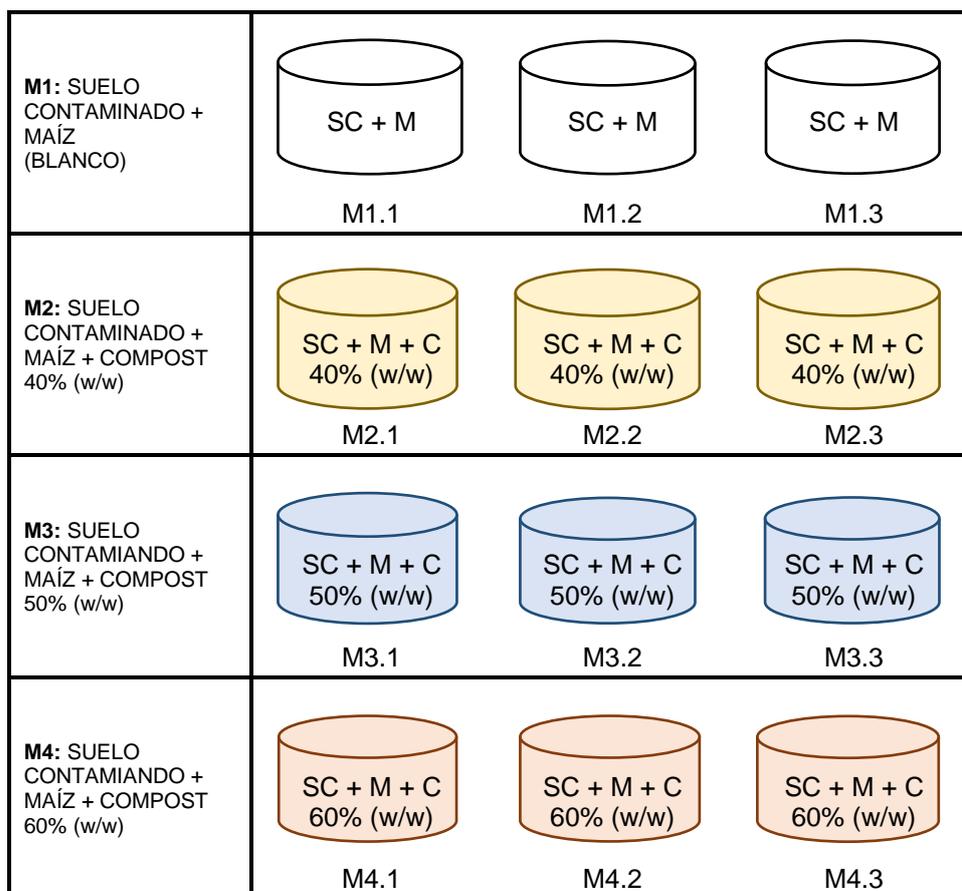
PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	PERIODO DE MEDICIÓN
Mediciones en laboratorios externos	
TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo)	Al inicio y final del tratamiento
Caracterización: Textura, CIC, MO, N, P, K, Metales Totales	Al Inicio
Mediciones internas (equipo propio)	
Temperatura, Conductividad eléctrica y pH	1 vez por semana

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3. Fase Experimental

La experimentación se realizó en un tiempo de 3 meses (90 días) desde día de siembra del maíz. Los tratamientos se desarrollaron y evaluaron en macetas descritos en la Fase Pre-Experimental. El ambiente donde se desarrolló los tratamientos de la presente tesis será en la Universidad Nacional del Callao (Fotografía N° 4.1 y 4.2). Debido a la naturaleza de la investigación el análisis de los tratamientos se realizó como se muestra en la Figura N° 4.3:

**FIGURA N° 4.3 - UNIDADES EXPERIMENTALES**



**SC:** Suelo contaminado por hidrocarburos, **M:** *Zea mays* (Maíz), **C:** Compost

Fuente: Elaboración Propia

**FOTOGRAFIA N° 4.1 – ELABORACIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES**



Fuente: Elaboración Propia

## FOTOGRAFIA N° 4. 2 – AMBIENTE DESTINADO PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS



Fuente: Elaboración Propia

Las semillas de *Zea mays* se obtuvieron del Instituto Nacional de Investigación Agraria – INIA (Anexo N° 5), luego se sembró cinco semillas en cada maceta a una profundidad de suelo de 5 cm.

Las macetas contenían un recipiente que recibía los lixiviados generados en cada tratamiento, estos fueron recogidos y reincorporados en su totalidad a los tratamientos respectivos para no alterar los resultados de la investigación.

### 4.2.3.1. Programa de Monitoreo

**A) Parámetros medidos en laboratorio:** Los parámetros a evaluar en cada tratamiento se detallan en la Tabla N° 4.4.

**TABLA N° 4. 4 – PARAMETROS EVALUADOS**

		0 días	90 días
TRATAMIENTOS	M1		* TPH
	M2		* TPH (i) * N,P,K
	M3		* CIC * M.O * C.M
	M4		* TPH

LEYENDA	
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo
CIC	Capacidad de intercambio Catiónico
N,P,K	Nitrógeno, Fosforo, Potasio
M.O	Materia Orgánica
C.M	Corrida de Metales

Fuente: Elaboración Propia

(i) Es un muestreo representativo para los 4 tratamientos planteados.

**B) Parámetros medidos en Campo:** Los parámetros a evaluar en cada tratamiento que se medirán 1 vez a la semana (Tabla N° 4.5) durante 90 días, en el Anexo N° 3 se adjuntan los registros de los valores tomados en campo.

**TABLA N° 4. 5 – PARAMETROS EVALUADOS SEMANALMENTE**

		L	M	MI	J	V
TRATAMIENTOS	M1	* pH * T° *C.E				
	M2	* pH * T° *C.E				
	M3	* pH * T° *C.E				
	M4	* pH * T° *C.E				

LEYENDA	
pH	Potencial de Hidrogeno
T°	Temperatura
C.E.	Conductividad Eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. Población y Muestra

#### 4.3.1. Población

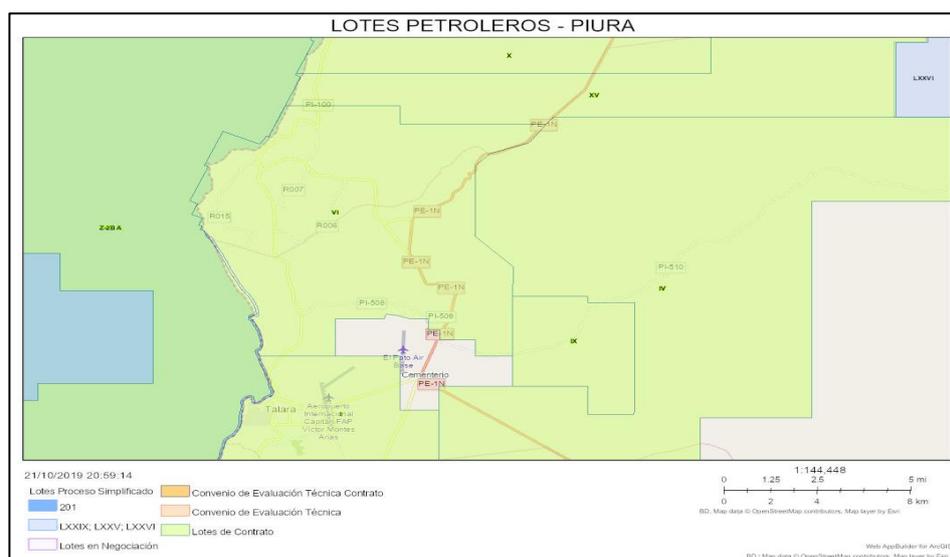
##### **“Suelos Costeros contaminados por hidrocarburos de petróleo de la provincia de Talara, departamento de Piura”**

La población que abarca este proyecto comprende la provincia de Talara en el departamento de Piura, debido a la intensa actividad petrolera (Figura N° 4.4) en esta zona desde los 90's. En los estudios de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del Departamento de Piura (2010), se describe que los suelos de la costa de Piura muestran las siguientes características:

- El contenido de nitrógeno en los suelos de Costa está en un rango de 0.007% a 0.092%, es decir en un nivel bajo, como consecuencia del bajo contenido de materia orgánica natural de los suelos, por la alta tasa de mineralización y una tasa baja de reposición, lo cual genera un balance poco favorable para el crecimiento de las plantas.
- El contenido de fósforo en los suelos de Costa está en un rango de 1.6 a 10.1 ppm, es decir en un nivel bajo a medio, lo cual refleja el contenido de fósforo en la materia mineral del suelo.
- El contenido de potasio en los suelos de Costa está en un rango de 46 a 702 ppm, es decir en niveles bajos, medios y altos, lo cual refleja la naturaleza mineralógica de las partículas del suelo, siendo menos abundante este elemento en los suelos arenosos que en aquellos de clase textural más fina.

- Los suelos de Costa analizados indican valores en un rango de 7.2 a 8.8, es decir desde ligeramente alcalinos a extremadamente alcalinos, los suelos que presentan valores de pH extremadamente alcalinos necesitan la aplicación de enmiendas químicas para disminuir el pH hasta un valor conveniente, en el mejor de los casos cerca de la neutralidad, dependiendo de las exigencias del cultivo.

**FIGURA N° 4. 4 – LOTES PETROLEROS, PROVINCIA DE TALARA – PIURA**



Fuente: PeruPetro (2019)

#### 4.3.2. Muestra

**“Suelos Costeros contaminados por hidrocarburos de petróleo por actividades de pozos petroleros del distrito de Pariñas, provincia Talara”**

Se tomó una muestra compuesta del distrito de Pariñas (Tabla N° 4.6), lugar donde existe una fuerte actividad petrolera y los pasivos por contaminación de hidrocarburos se presentan en gran parte de la zona. Debido a la antigüedad de estos pasivos no podemos determinar qué empresa tenía la licitación de dicha área, por ello los datos de información del lugar de la muestra fueron tomadas de manera referencial de acuerdo al Tercer Informe Final "SERVICIO DE

CONSULTORÍA PARA EJECUTAR EL ESTUDIO DE CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LA TIERRA EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA obtenida de la página del Geoservidor del MINAM, teniendo como base las coordenadas tomadas en campo con el GPS (Figura N° 4.5).

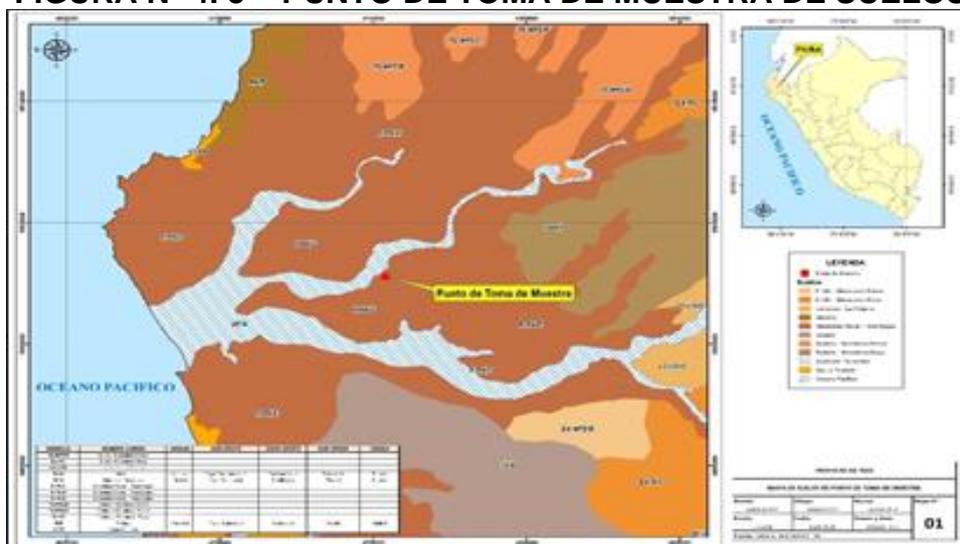
**TABLA N° 4. 6 – UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRA DE SUELOS**

Departamento	Provincia	Zona	Datum WGS 84	
			(X)	(Y)
Piura	Talara	17 S	475377	9502761

Fuente: Elaboración Propia

En la ZEE – Piura en el estudio de suelos, se realizaron calicatas para obtener información sobre características, propiedades e información relevante de los suelos. En la calicata RPT13 realizada en el Distrito de Pariñas, Provincia de Talara el perfil del suelo describe lo siguiente en la Figura N° 4.6.

**FIGURA N° 4. 5 – PUNTO DE TOMA DE MUESTRA DE SUELOS**



Fuente: Elaboración Propia

## FIGURA N° 4. 6 – INFORMACIÓN DE CALICATA RPT13

**28. Perfil representativo del Suelo Jabonillal (Ja).**

Clasificación Natural:	Soil Taxonomy: Torrifluvents. FAO: Fluvisol
Foto No	55 y 56
Calicata No	RPT13.
Ubicación	Coordenadas UTM, WGS84 Z17, 9499860N 476922E Provincia de Talara, Distrito de Pariñas. Sector Jabonillal. 21 m.s.n.m.
Fisiografía:	Llanura ondulada (Llo – b)
Pendiente:	0 - 4 %
Erosión:	Muy leve en planicie. Erosión lateral moderada a severa en cauce de quebrada.
Zona de Vida:	Desierto superárido – Tropical (ds – T)
Material Parental:	Depósitos aluviales antiguos (Q – al) conglomerados, arenas, arcillas, con espesores que pueden sobrepasar los 10 m. a lo largo de la carretera Sullana – Talara y Piura – Chiclayo.
Vegetación:	Bosque seco ralo, de algarrobo.
Pedregosidad Superficial:	-

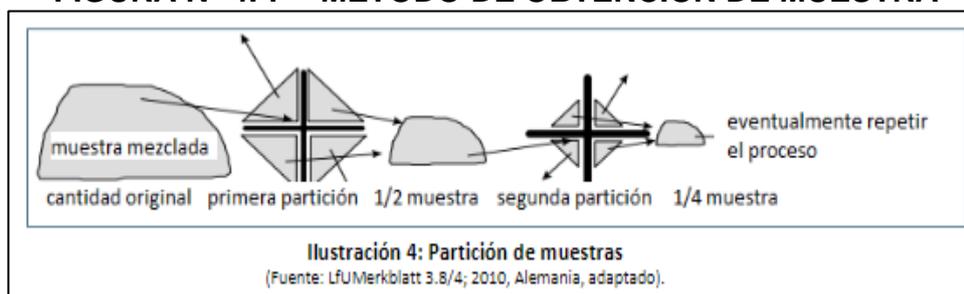
*Descripción de perfil del Suelo*

Horizonte	Prof / cm	Descripción
A	0 – 20	Clase textural Franco Limoso; color pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; estructura en bloques subangulares finos, débiles; consistencia friable en húmedo; reacción neutra (pH 7.08); contenido bajo en materia orgánica (0.5%); raíces medias a finas, escasas; permeabilidad rápida a muy rápida. Límite de horizonte difuso al
AC	20 – 36	Clase textural Franco Limoso; color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, estructura masiva; consistencia friable en húmedo; reacción neutra (pH 7.08); contenido bajo en materia orgánica (0.5%); raíces ocasionales; permeabilidad rápida a muy rápida. Límite de horizonte difuso al
C1	36 – 65	Clase textural Franco Arenoso; color pardo pálido (10 YR6/3) en seco; estructura masiva; consistencia friable en húmedo; reacción neutra (pH 7.08); contenido bajo en materia orgánica (0.5%); raíces ausentes; permeabilidad rápida a muy rápida. Límite de horizonte claro al
C2	65 + 120	Clase textural Franco Arenoso; color pardo pálido (10 YR6/3) en seco; estructura masiva; consistencia muy friable en húmedo; raíces ausentes; permeabilidad rápida a muy rápida. Sustrato material extremadamente duro y cementado.

Fuente: Gobierno Regional de Piura, (2010)

Se obtuvo la muestra siguiendo las indicaciones de la “Guía para Muestreo de Suelos” del Ministerio del Ambiente (2014), obteniendo 4 muestras compuestas a una profundidad de 0 – 10 cm, según lo estipulado para suelos Industriales y/o extractivos.

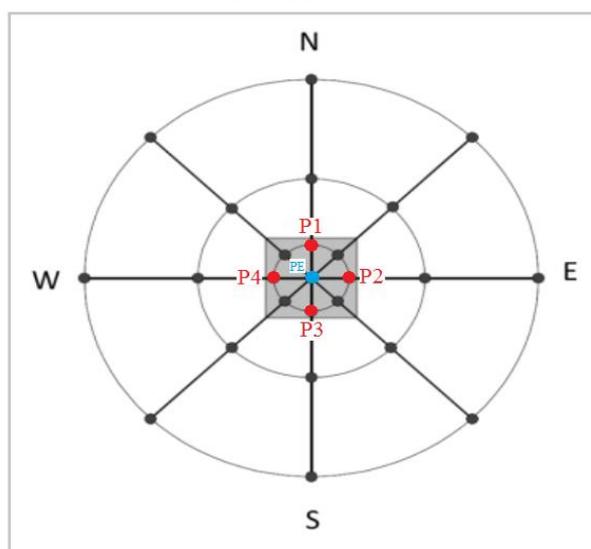
## FIGURA N° 4. 7 – METODO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA



Fuente: Guía para muestreo de suelos - MINAM (2014)

El patrón utilizado para la toma de muestras compuestas es Rejilla Circular, debido a que la fuente de contaminación corresponde a un solo punto de emisión.

**FIGURA N° 4. 8 – PATRON DE MUESTREO DE REJILLAS CIRCULAR**



**P1:** Punto 1 de muestreo compuesto, **P2:** Punto 2 de muestreo compuesto, **P3:** Punto 3 de muestreo compuesto, **P4:** Punto 4 de muestreo compuesto, **PE:** Punto de emisión del contaminante.

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4. Lugar del Estudio y Periodo desarrollado**

##### **4.4.1. Lugar de Estudio**

En el jardín trasero de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

##### **4.4.2. Periodo Desarrollado**

Durante 3 meses se realizó la parte experimental, abarcando los meses de enero a abril del año 2019

#### 4.5. Técnicas e Instrumentos para la recolección de la información

La técnica de recolección de datos usada fue la “observación estructurada”, debido a que la observación estuvo dirigida a los parámetros preestablecidos en la información recopilada en la fase de gabinete; y que se encontraron en correlación con los protocolos nacionales e internacionales para la medición y toma de datos de suelos contaminados con hidrocarburos.

Los parámetros preestablecidos en la fase de gabinete fueron: pH, temperatura, conductividad, capacidad de intercambio catiónico (CIC), hidrocarburos totales de petróleo (TPH), materia orgánica, metales, nitrógeno, fósforo, potasio, textura.

##### 4.5.1. Técnicas y Métodos

En la tabla N° 4.7 se especifican las técnicas y métodos utilizados en la presente tesis, están en correlación con las normas nacionales e internacionales para su medición. Cabe resaltar que las técnicas y métodos especificados en la Tabla N° 4.7 están acorde a los informes de ensayo realizados por el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. acreditado por INACAL, donde se analizaron las muestras de la presente tesis.

**TABLA N° 4. 7– TÉCNICAS Y MÉTODOS**

PARÁMETRO	TÉCNICAS Y MÉTODOS	L.C	UNIDADES
Hidrocarburos Totales de petróleo (TPH)	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Métodos AS-12/Métodos AS-13 (31 de diciembre 2002).	-	mEq/100g muestra

Nitrógeno total kjeldahl	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.3.17 Métodos AS-25 (31 de diciembre 2002)	0.05	N %
Carbonatos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Métodos AS-20 (31 de diciembre 2002)	0.50	CaCO <sub>3</sub> %
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Métodos AS-09 (31 de diciembre 2002)	-	%
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996. Soll quality	-	mS/m
Materia Orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07. 2002.	0.24	%
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	-	unid pH
Metales	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994).	-	mg/kg
Fósforo	ISO 11263:1994 Soil quality	0.05	P %
Potasio	EPA 3050 B-SM 3111 B	0.05	K %

**L.C:** Límite de cuantificación

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.2. Equipos, materiales, reactivos e Insumos utilizados

- **Equipos**

Multiparámetro - Tipo: EZDO 7200. Multiparámetro tipo lapicero de pH, Conductividad eléctrica (CE) y Temperatura (°C).

Rango y Resolución se detalla en la Tabla N° 4.8:

**TABLA N° 4. 8– CARACTERISTICAS DE MULTIPARAMETRO EZDO 7200**

Parámetros	Rango	Resolución
CE	0 a 2000 uS/cm 2.00 – 20.00 mS	1uS/cm
pH	0.00 a 14.00	0.01
Temperatura	0 – 90°C	0.1°C

Fuente: Elaboración Propia

- **Balanza analítica**

Tipo: Cubis®. Balanza Analítica Digital. El rango y resolución se detalla en la Tabla N° 4.9:

**TABLA N° 4. 9– CARACTERISTICA DE BALANZA ANALITICA**

Parámetro	Rango	Resolución
Peso	Hasta 520 g	0,1 mg o 0,01 mg

Fuente: Elaboración Propia

- **Materiales**

- Vasos de precipitado de 25 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Cinta métrica
- Tamiz de 2-5 mm
- 4 costales de 10 kg
- Maceta de cemento
- Guantes de nitrilo

- Mascarilla para gases orgánicos

- **Insumos**

- Agua destilada.
- Solución amortiguadora de pH 7 y 4.
- 100 kg de suelo

## **4.6. Análisis y Procesamiento de Datos**

### **4.6.1. Análisis de Datos**

En concordancia con el diseño de investigación establecido en el ítem 4.1.2 diseño completamente al azar (DCA), cuyo propósito es determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos propuestos; para ello, compara la varianza del tratamiento contra la varianza del error y determina si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F. En el ítem 4.1.2.1.2. Aplicación del análisis del DCA se detalla su aplicación.

Para el análisis estadístico se utilizó el “análisis de varianza” para comparar los tratamientos propuestos y determinar si existe diferencia significativa entre estos, para ello se utilizó los datos obtenidos del indicador X1 (Concentración de hidrocarburos fracción F2 y F3 en el suelo).

#### **4.6.1.1. Análisis de Varianza**

- Hipótesis Nula  $H_0: \tau_i = 0$  (Los  $i$  tratamientos tienen el mismo efecto sobre la variable en estudio)
- Hipótesis Alternativa  $H_a: \tau_i \neq 0$  (No todos los tratamientos tienen el mismo efecto sobre la variable en estudio, al menos uno produce un resultado distinto)

La hipótesis Nula y alterna para la siguiente tesis son:

**Hipótesis Nula Ho:** Los tratamientos propuestos tienen el mismo efecto en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

**Hipótesis Nula Ha:** No todos los tratamientos propuestos tienen el mismo efecto en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, por lo menos un tratamiento presentará un efecto distinto.

Sabiendo que la diferencia de los 04 tratamientos propuestos varía según la dosificación de compost en suelo (% en peso de compost en suelo). Para mayor detalle ver Tabla N° 4.1.

Para el siguiente contraste de hipótesis el nivel de significancia es de 0.05 (95% de confianza).

#### **4.6.1.2. Supuestos**

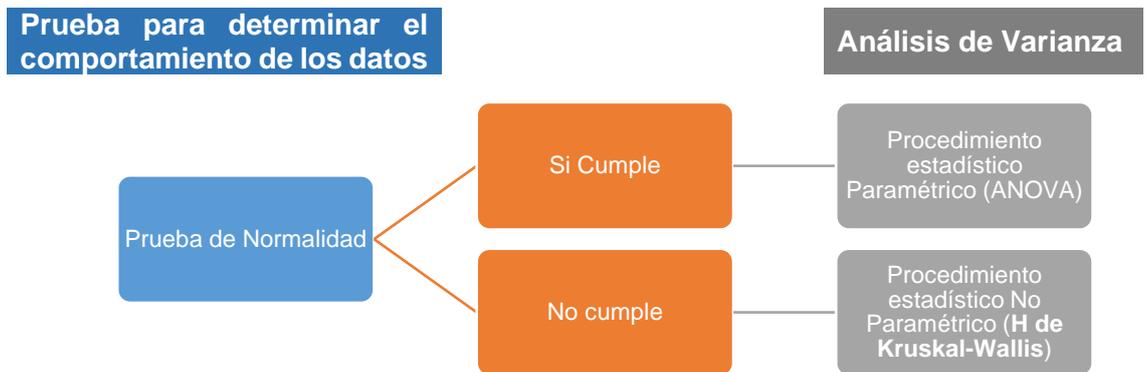
Los supuestos que validan el análisis de varianza son:

- a) Los errores son independientes.
- b) Los errores están normalmente distribuidos con media cero y varianza constante.
- c) Existe homogeneidad de varianza entre los tratamientos.

#### **4.6.1.3. Comportamiento de los Datos**

Se realizó el análisis comparativo de las concentraciones finales de los hidrocarburos de petróleo (TPH) fracción F2 y F3 medidos después de la aplicación de los tratamientos propuestos, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos propuestos. El análisis estadístico se realizará teniendo en cuenta los casos que se muestran en la Figura N° 4.9:

**FIGURA N° 4. 9 – PROCEDIMIENTO DE ANALISIS ESTADISTICO COMPARATIVO SEGÚN EL COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS**



Fuente: Elaboración Propia

El análisis de varianza se puede realizar mediante la comparación de las medias o medianas de un conjunto de datos, debido a que el comportamiento de los datos obtenidos no se puede saber hasta la finalización de la experimentación, se va adoptar los dos caminos planteados en la Figura N° 4.9. Cabe resaltar que para aplicar el análisis de varianza paramétrica ANOVA (análisis de varianza de medias), el comportamiento de los datos debe cumplir normalidad y homogeneidad; y el requisito de normalidad resulta más importante si los datos a analizarse son inferiores a 30. En caso no se pueda realizar en análisis paramétrico ANOVA, la alternativa no paramétrica que debe realizarse es la prueba Kruskal-Wallis (análisis de varianza de medianas).

Siendo nuestra variable de medición numérica, se optará por el procedimiento estadístico paramétrico ANOVA, siempre y cuando el comportamiento de los datos obtenidos cumpla con la normalidad esperada para este tipo de análisis estadístico; si los datos obtenidos

no cumplen con la normalidad se optará por el procedimiento estadístico no paramétrico H de Kruskal-Wallis.

Por ello para los análisis expuestos en la presente tesis se seguirá lo planteado en la Figura N° 5.1, siendo la prueba de normalidad la prueba inicial para determinar el uso del ANOVA o H de Kruskal-Wallis.

#### **4.6.2. Procesamiento de Datos**

Procesamiento de datos estadísticos se realizaron mediante el programa IBM SPSS Statistics 25.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Caracterización del Suelo Contaminado por Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3.

##### 5.1.1.1. Procedencia y Obtención de Muestra

Se realizó una muestra compuesta de suelos contaminados, estas fueron obtenidas en un radio de 5 metros de un pozo petrolero (Fotografía N° 5.1) ubicado en el distrito de Pariñas, Provincia de Talara, del Departamento de Piura; las coordenadas se muestran en la Tabla N° 5.1:

**TABLA N° 5. 1 – PUNTO DE TOMA DE MUESTRA COMPUESTA – TALARA, PIURA**

Departamento	Provincia	Zona	Datum WGS 84	
			(X)	(Y)
Piura	Talara	17 S	475377	9502761

Fuente: Elaboración Propia.

**FOTOGRAFIA N° 5. 1 – PUNTO DE TOMA DE MUESTRA**



Fuente: Elaboración Propia

Se tomaron un total de 100 – 120 Kg de muestras de suelo contaminados por Hidrocarburos de Petróleo a una profundidad de 0 – 30 cm tomando como referencia a Asadollahi (2016) . Las muestras se homogenizaron y se pasaron a través de un tamiz de 2 – 2.5 mm (Fotografía N° 5.2), quedando un total de 60 Kg de Suelos Contaminado por Hidrocarburo de Petróleo.

#### **FOTOGRAFIA N° 5. 2 – TAMIZADO DE SUELOS**



Fuente: Elaboración Propia

#### **5.1.1.2. Caracterización de Suelo Contaminado por Hidrocarburo de Petróleo**

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. (SAG) con la finalidad de obtener los valores de los principales parámetros del Suelo Contaminado (Fotografía N° 5.3).

**FOTOGRAFIA N° 5. 3 – ENVIO DE MUESTRAS A LABORATORIO SAG**



Fuente: Elaboración Propio

La información de los valores de los parámetros analizados se detallan en la Tabla N° 5.2, además en el Anexo N° 2 se adjuntan los Informes de Ensayo originales.

**TABLA N° 5. 2 – CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS**

<i>Código</i>	T-01	
<i>Fecha Muestreo</i>	23/04/2018	
<i>Fecha Análisis</i>	24/04/2018	
<i>N° Informe Ensayo</i>	133528-2019	
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
pH	pH	7.26
Conductividad	mS/m	433
Capacidad Intercambio Catiónico	mEq/100 g	2.125
Materia Orgánica	%	10.46
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	%	<0.50
Nitrógeno Total (N)	%	6.88

<i>Código</i>	T-01	
<i>Fecha Muestreo</i>	23/04/2018	
<i>Fecha Análisis</i>	24/04/2018	
<i>N° Informe Ensayo</i>	133528-2019	
TEXTURA		
Arena	%	68
Limo	%	8
Arcilla	%	24
METALES		
Plata (Ag)	mg/Kg	0.08
Aluminio (Al)	mg/Kg	6272.6
Arsénico (As)	mg/Kg	3.3
Boro (B)	mg/Kg	8.2
Bario (Ba)	mg/Kg	91.9
Berilio (Be)	mg/Kg	0.24
Calcio (Ca)	mg/Kg	5123.1
Cadmio (Cd)	mg/Kg	0.29
Cobalto (Co)	mg/Kg	7
Cromo (Cr)	mg/Kg	11.21
Cobre (Cu)	mg/Kg	37.1
Hierro (Fe)	mg/Kg	16063.9
Mercurio (Hg)	mg/Kg	<0.1
Potasio (K)	mg/Kg	1212.2
Litio (Li)	mg/Kg	11.1
Magnesio (Mg)	mg/Kg	3106.7
Manganeso (Mn)	mg/Kg	147.97
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.6
Sodio (Na)	mg/Kg	5679.6
Níquel (Ni)	mg/Kg	14.97
Fósforo (P)	mg/Kg	435.4

<i>Código</i>	T-01	
<i>Fecha Muestreo</i>	23/04/2018	
<i>Fecha Análisis</i>	24/04/2018	
<i>N° Informe Ensayo</i>	133528-2019	
Plomo (Pb)	mg/Kg	13.78
Estaño (Sn)	mg/Kg	0.8
Titanio (Ti)	mg/Kg	37.48
Zinc (Zn)	mg/Kg	70.5

Fuente: Elaboración Propia

El suelo presenta un pH de 7.26 considerado poco alcalino, además que no se encuentra dentro del rango de 7.5 – 7.8 considerado un pH óptimo para la mineralización de compuestos de petróleo (Asadollahi, 2016).

El valor de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es de 2.125 meq/100 g este valor es muy bajo para la actividad de un suelo, esto se explica debido a la baja cantidad de arcilla y la propia característica de un suelo arenosos; la Conductividad Eléctrica (CE) es de 433 mS/m que es el doble del valor máximo para considerar un suelo fértil. Además los valores de Nitrógeno (N) y Materia Orgánica son aceptables 6.88% y 10.46% respectivamente (Perú, MINAG , 2011).

El Suelo tiene la siguiente textura 68% Arena, 8% Limo y 24% Arcilla es decir es un suelo Franco Arcillo Arenoso de acuerdo al Sistema USDA (de Recursos Naturales, 2014).

Los valores de los metales como Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) cumplen con el D.S. N° 011-2017-MINAM: Estándar de Calidad Ambiental de Suelos (ECA) para Para Suelos Comercial/ Industrial/ Extractivo.

Previo al inicio de la Fase experimental, los suelos fueron analizados para determinar las concentraciones iniciales de los parámetros de Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción F2 y F3. Los valores se muestran en la Tabla N° 5.3.

**TABLA N° 5. 3 – VALORES DE CONCENTRACION INICIAL DE TPH F2 Y F3**

<i>Código</i>	SUELO-01 (T-01)	
<i>Fecha Muestreo</i>	23/04/2018	
<i>Fecha Análisis</i>	24/01/2019	
<i>N° Informe Ensayo</i>	130435-2019	
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) - Fracción F2 (C10 - C28)	mg/Kg	34,131
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) - Fracción F3 (C28 - C40)	mg/Kg	52,050

Fuente: Elaboración Propia

Las concentraciones de TPH fracción F2 y fracción F3 superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Suelo con uso Extractivas, por lo que podemos concluir que la concentración inicial de TPH para las fracciones F2 y F3 son muy elevadas en más de 600% y 800% respectivamente a lo establecido por el ECA.

### 5.1.2. Caracterización de Compost

En la Tabla N° 5.4 se muestra la composición de nutrientes del compost utilizado proveniente de la Universidad Agraria La Molina. El informe de laboratorio con los resultados se encuentra en el Anexo N° 2.

**TABLA N° 5. 4 – CARACTERIZACIÓN DE COMPOST**

<i>Código</i>	Compost	
<i>Fecha Muestreo</i>	23/01/2019	
<i>Fecha Análisis</i>	23/01/2019	
<i>N° Informe Ensayo</i>	14834	
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
pH	pH	6.79
Conductividad Eléctrica	dS/m	8.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / P	%	2.12 / 0.93
K <sub>2</sub> O / K	%	1.05 / 0.87
CaO	%	3.49
MgO	%	1.34
N	%	0.6

Fuente: Elaboración Propia

El compost analizado presenta un pH de 6.79, el cual es considerado un pH neutro y la Conductividad Eléctrica con un valor de 8.9 dS/m esto debido a la presencia de sales solubles en su composición. Además el contenido de nutrientes del compost como Nitrógeno (N) 0.6%, Fosforo (P) 0.87% y Potasio (K) 0.93 se encuentran dentro del rango los valores establecidos (Tabla N° 5.5) por Román (2013) en el Manual de Compostaje del Agricultor – FAO .

**TABLA N° 5. 5 – CONTENIDO DE N, P, K EN COMPOST**

Rango de cantidades necesarios de nutrientes presentes en un compost para su aplicación en cultivos.

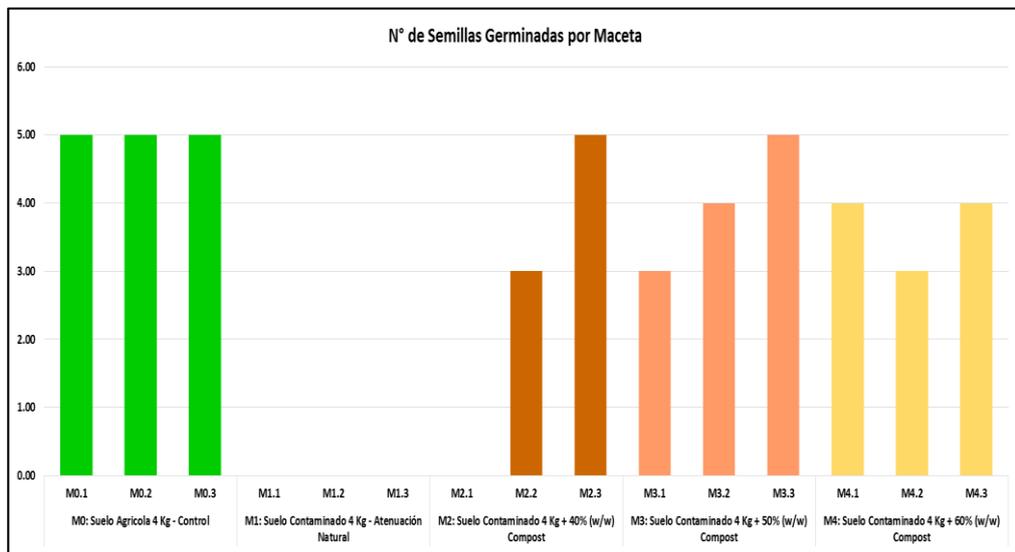
<b>Nutriente</b>	<b>% en compost</b>
Nitrógeno	0,3% – 1,5% (3g a 15g por Kg de compost)
Fósforo	0,1% – 1,0% (1g a 10g por Kg de compost)
Potasio	0,3% – 1,0% (3g a 10g por Kg de compost)

Fuente: Roman (2013)

### 5.1.3. Germinación y Alturas de *Zea mays*

Se tomaron información del número de semillas germinadas y de la altura de las plantas de maíz de cada tratamiento, los cuales se muestran en la Tabla N° 5.6. Además en el Anexo N° 3 se adjunta los registros de ampo y, con fotografías de la germinación y el crecimiento del maíz; este registro se completó semanal durante la experimentación; el detalle de las germinación y alturas de planta en cada replica delos tratamiento se muestras en las Gráficas N° 5.1 y 5.2.

**GRAFICA N° 5. 1 – NÚMERO DE SEMILLAS GERMINADAS POR REPLICAS DE CADA TRATAMIENTO**

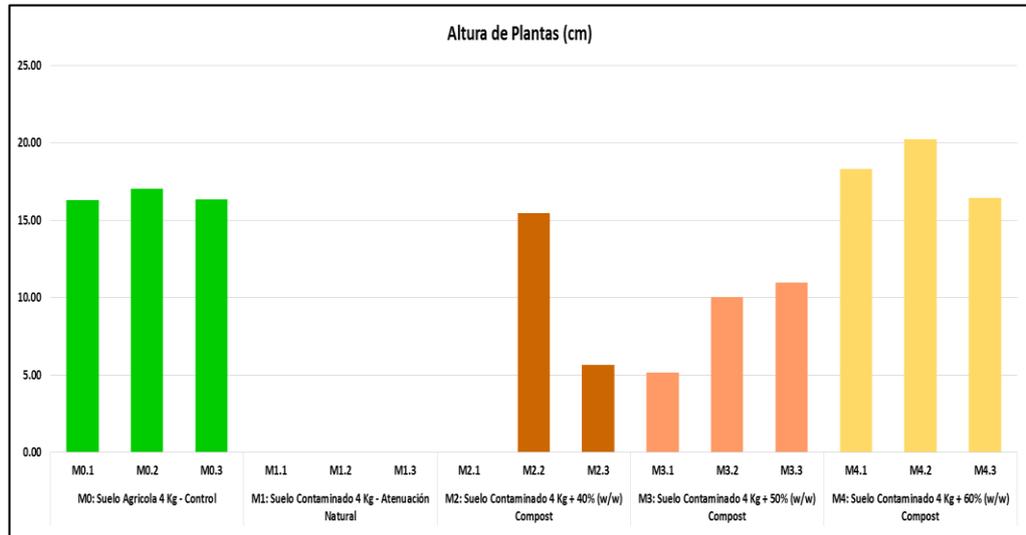


Fuente: Elaboración Propia

La aplicación de compost muestra un efecto positivo sobre la germinación y crecimiento del maíz. De acuerdo a los datos obtenidos la germinación de semillas y la altura de las plantas de maíz tuvieron diferencias significativas con la proporción de aplicación de compost en cada tratamiento. En el suelo contaminado sin Compost (M1) no hubo germinación del maíz, a comparación de los Tratamientos M2, M3 y M4 que al aumentar la aplicación de compost mejoro la germinación. Respecto a la altura de las plantas del tratamiento M4 que tiene una aplicación de compost del 60% tuvieron el doble de altura de plantas en

comparación con el tratamiento M2 y M3, e incluso del mismo control (Grafico N° 5.3).

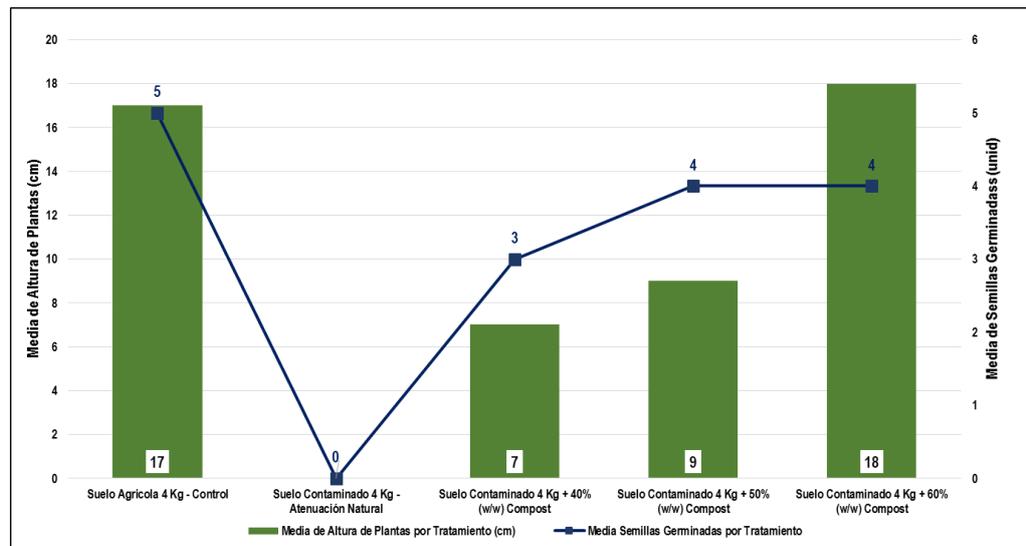
### GRAFICA N° 5. 2 – NÚMERO DE ALTURA DE PLANTAS POR REPLICAS DE CADA TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración Propia

### GRAFICO N° 5. 3 – GERMINACIÓN Y ALTURA DEL MAÍZ

Comportamiento de la media del número de semillas germinadas y altura de plantas (cm) en cada tratamiento, el cual muestra que el aumento de la concentración de compost permite una mejor germinación de las semillas y altura de plantas, el tratamiento M4 (Maíz + 60% w/w Compost) registra la más alta germinación al igual que el tratamiento M3 (Maíz + 50% w/w Compost) con 4 semillas germinadas en promedio, pero la altura de las plantas del tratamiento M4 con 18 cm son el doble del valor del tratamiento M3 con 9 cm.



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 5.6 - NÚMERO DE SEMILLAS GERMINADAS Y ALTURA DE PLANTA *Zea mays***

Análisis del número de semillas germinadas y altura de plantas (cm) en cada tratamiento con sus repeticiones, además de las medias de cada tratamiento (M1, M2, M3, M4) y blanco (M0). El cual muestra que al menos en cada tratamiento hubo germinación de maíz a excepción del tratamiento M0 el cual no registró ninguna semilla germinada en ninguna repetición.

GERMINACIÓN Y ALTURA DE PLANTAS						
Tratamiento	Código de Tratamiento	Código por Maceta	Semillas Germinadas por Maceta	Media de Altura de Plantas por Maceta (cm)	Media Semillas Germinadas por Tratamiento	Altura de Plantas por Tratamiento (cm)
Suelo Agrícola 4 Kg - Control	M0	M0.1	5.00	16.30	5	17 ± 0.42
		M0.2	5.00	17.04		
		M0.3	5.00	16.32		
Suelo Contaminado 4 Kg - Atenuación Natural	M1	M1.1	0.00	0.00	0	0
		M1.2	0.00	0.00		
		M1.3	0.00	0.00		
Suelo Contaminado 4 Kg + 40% (w/w) Compost	M2	M2.1	0.00	0.00	3	7 ± 6.91
		M2.2	3.00	15.43		
		M2.3	5.00	5.66		
Suelo Contaminado 4 Kg + 50% (w/w) Compost	M3	M3.1	3.00	5.17	4	9 ± 3.12
		M3.2	4.00	10.05		
		M3.3	5.00	10.96		
Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost	M4	M4.1	4.00	18.30	4	18 ± 1.90
		M4.2	3.00	20.23		
		M4.3	4.00	16.43		

Nota: En cada maceta se sembró 5 semillas de maíz  
Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4. Concentraciones Finales de TPH por Tratamiento

En las Tablas N° 5.7 y 5.8 se muestran las concentraciones iniciales y finales de TPH para la fracción F2 y F3 respectivamente. El informe de laboratorio con los resultados se encuentra en el Anexo N° 2.

**TABLA N° 5. 7 – RESULTADOS DE TPH F2 POR TRATAMIENTO**

Tratamiento	Unidad Experimental	TPH F2 Inicial (mg/kg)	TPH F2 Final (mg/kg)	TPH F2 Final (mg/kg)
Tratamiento 1 – M1: Compost 0% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i> (Atenuación Natural)	M1.1	34,131	27,772	27,931.33 ± 794
	M1.2		27,229	
	M1.3		28,793	
Tratamiento 2 – M2: Compost 40% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M2.1		11,603	9,754.33 ± 2027
	M2.2		7,587	
	M2.3		10,073	
Tratamiento 3 – M3: Compost 50% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M3.1		7,052	6,635.00 ± 570
	M3.2		5,986	
	M3.3		6,867	
Tratamiento 4 – M4: Compost 60% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M4.1		4,762	5,580.33 ± 1435
	M4.2		7,237	
	M4.3		4,742	

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 5. 8 - RESULTADOS DE TPH F3 POR TRATAMIENTO**

Tratamiento	Unidad Experimental	TPH F3 Inicial (mg/kg)	TPH F3 Final (mg/kg)	TPH F3 Final (mg/kg)
Tratamiento 1 – M1: Compost 0% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i> (Atenuación Natural)	M1.1	52,050	50,456	51,503.00 ± 4,311.91
	M1.2		47,811	
	M1.3		56,242	

Tratamiento 2 – M2: Compost 40% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M2.1	52,050	26,292	<b>24,158.33 ± 3,134.15</b>
	M2.2		20,560	
	M2.3		25,623	
Tratamiento 3 – M3: Compost 50% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M3.1		21,262	<b>19,948.33 ± 2,150.14</b>
	M3.2		17,467	
	M3.3		21,116	
Tratamiento 4 – M4: Compost 60% w/w + 5 Semillas de <i>Zea mays</i>	M4.1		15,819	<b>18,126.00 ± 4,747.38</b>
	M4.2		23,586	
	M4.3		14,973	

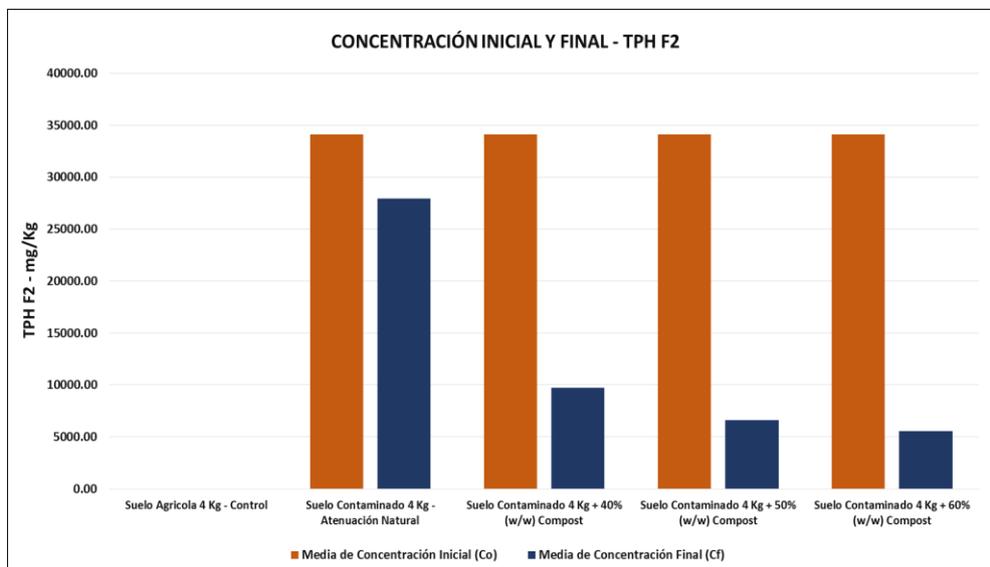
Fuente: Elaboración Propia

Los valores de las medias de concentraciones finales de TPH fracción F2 y fracción F3 (Grafico N° 5.2 y 5.3) el suelo disminuyo con la aplicación de compost a diferentes concentración en los tratamientos M2, M3 y M4. En el tratamiento M1 donde no se aplicó compost la media de la concentración final de TPH no fue significativa tanto para las fracciones F2 y F3.

Las medias de las concentraciones Finales de TPH F2 y F3 de todos los tratamiento no alcanzaron el ECA-Suelo, pero el tratamiento M4: Suelo contaminado + 60% Compost + Maíz tuvo la mayor disminución de concentración de TPH F2 y F3 a comparación de los otros tratamientos, en el Anexo N° 3, se adjunta el detalle del registro de los resultados de cada tratamiento y repeticiones.

### GRAFICO N° 5. 4 – CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL – TPH F2

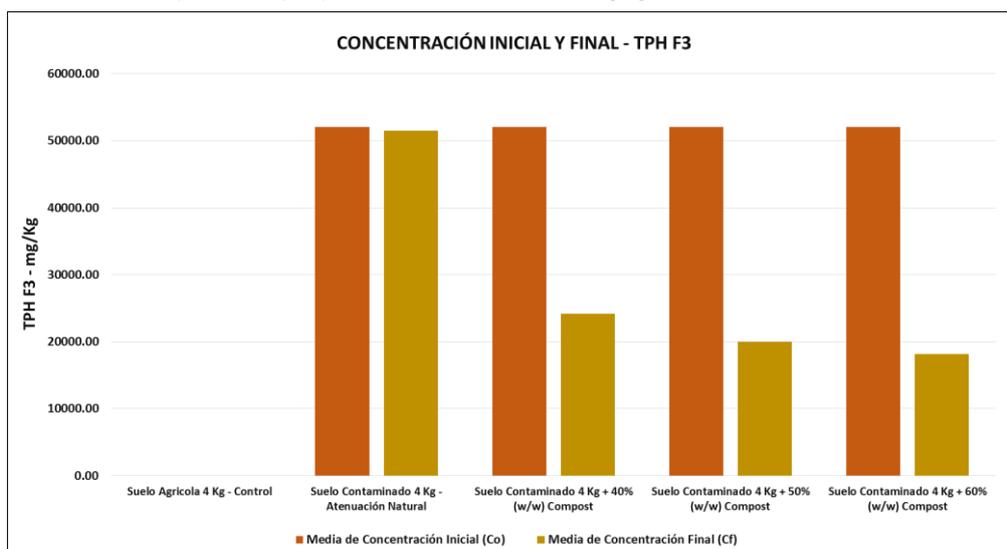
Comportamiento de la Concentración de TPH Fracción F2 (mg/Kg) por tratamiento, la concentración inicial es similar para los tratamientos M1, M2, M3 y M4. La concentración final de TPH Fracción F2 (mg/kg) tiene un comportamiento diferente en cada tratamiento con el aumento de la concentración de compost. Esto se corrobora que el tratamiento M4 (60 w/w compost) logró el mejor valor de 5580.33 mg/kg y por el contrario el tratamiento M1 (0 w/w compost) tuvo un valor de 27391.33 mg/kg.



Fuente: Elaboración Propia

### GRAFICO N° 5. 5 - CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL – TPH F3

Comportamiento de la Concentración de TPH Fracción F3 (mg/Kg) por tratamiento, la concentración inicial es similar para los tratamientos M1, M2, M3 y M4. La concentración final de TPH Fracción F3 (mg/kg) tiene un comportamiento diferente en cada tratamiento con el aumento de la concentración de compost. Esto se corrobora que el tratamiento M4 (60 w/w compost) logró el mejor valor de 18126.00 mg/kg y por el contrario el tratamiento M1 (0 w/w compost) tuvo un valor de 51503.00 mg/kg.



Fuente: Elaboración Propia

## **5.2. Resultados inferenciales**

### **5.2.1. Análisis germinativo y altura de planta de *Zea mays* (Maíz)**

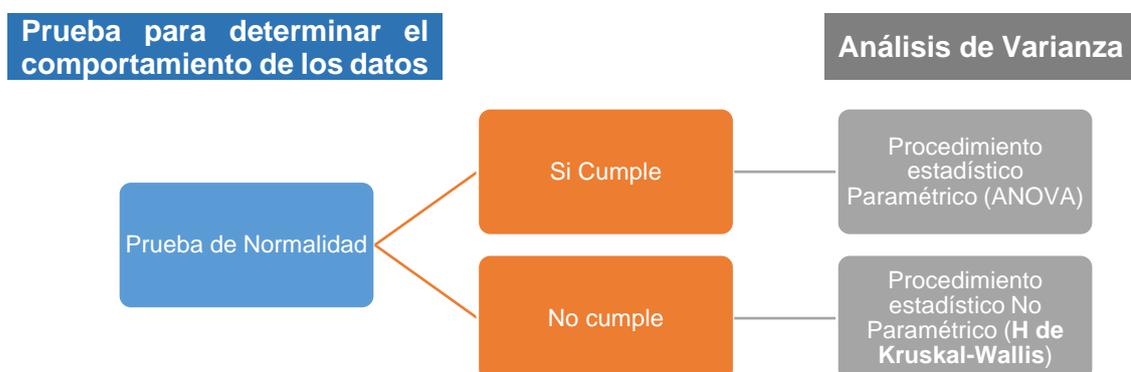
Se realizó un análisis estadístico descriptivo para el número de semillas germinadas y la altura de la planta *Zea mays* (maíz), realizando un promedio de los datos obtenidos en las 03 repeticiones realizadas por promedio y calculando su desviación estándar. Se presenta los datos obtenidos en la TABLA N° 5. 6.

En el GRAFICO N° 5.3 se evidencio que el suelo contaminado sin Compost (M1) no hubo germinación del maíz, a comparación de los Tratamientos M2, M3 y M4 que al aumentar la aplicación de compost mejoro la germinación. Respecto a la altura de las plantas del tratamiento M4 que tiene una aplicación de compost del 60% (w/w) tuvieron el doble de altura de plantas en comparación con el tratamiento M2 y M3, e incluso una altura similar al control M0 (Suelo Agrícola + Maíz)

### **5.2.2. Análisis Comparativo TPH-F2**

Se realizó el análisis comparativo de las concentraciones finales de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fracción F2 medidos después de la aplicación de los tratamientos propuestos, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos propuestos. El análisis estadístico se realizará según lo expuesto en el ítem 4.6.1.3., teniendo en cuenta los casos siguientes:

**FIGURA N° 5. 1 – PROCEDIMIENTO DE ANALISIS ESTADISTICO SEGÚN EL COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS**



Fuente: Elaboración Propia

Siendo nuestra variable de medición numérica se optará por la prueba estadística paramétrica ANOVA, para lo cual los datos obtenidos deben cumplir con la normalidad esperada para este tipo de análisis estadístico; si los datos no cumplen con la normalidad se optará por el procedimiento estadístico no paramétrico H de Kruskal-Wallis.

Los análisis estadísticos descritos a continuación se realizaron mediante el programa IBM SPSS Statistics 25.

a) Prueba de normalidad

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk (TABLA N° 5.9) como prueba de normalidad, debido a que las unidades experimentales son menores de 50 (12 para la presente tesis), así como se muestra la TABLA N°4.1.

Para la presente prueba se tienen las siguientes hipótesis estadísticas:

- $H_0$ : La distribución de los datos de los 4 tratamientos es normal
- $H_1$ : La distribución de los datos de los 4 tratamientos no es normal

**TABLA N° 5. 9 – PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK PARA  
TPH F2**

Prueba de normalidad				
	Dosificación	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
TPH.F2	M1: Sin Compost	0,970	3	0,666
	M2: Compost al 40%	0,981	3	0,739
	M3: Compost al 50%	0,876	3	0,312
	M4: Compost al 60%	0,756	3	0,013

Fuente: Elaboración Propia

La hipótesis nula no se rechaza si la significancia en cada tratamiento es mayor a 0.05; si se cumple lo anterior se consigue la normalidad esperada para poder comparar los tratamientos mediante el procedimiento estadístico de ANOVA.

Debido a que la significancia del 4° tratamiento (M4: Compost al 60 %) es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula de que los 4 tratamientos tienen un comportamiento normal, por ende no se pueden comparar mediante la prueba estadística paramétrica ANOVA; entonces procederemos a analizar dichos datos mediante la prueba estadística no paramétrica de H de Kruskal-Wallis.

b) Análisis de la Varianza mediante H de Kruskal-Wallis

Mediante el análisis de la varianza de las medianas se compara la variabilidad de la distribución del parámetro TPH – F2 en los 4 tratamientos, partiendo de:

- H<sub>0</sub>: Los cuatro tratamientos propuestos (cuatro dosificaciones empleadas de compost) poseen el mismo efecto en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Fracción F2.
- H<sub>1</sub>: Los cuatro tratamientos propuestos (cuatro dosificaciones empleadas de compost) no poseen el mismo efecto en el

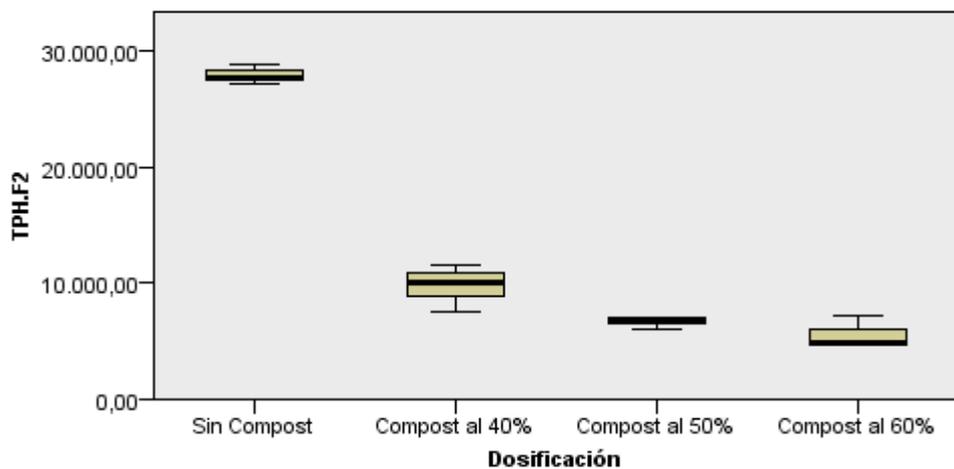
tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Fracción F2, por lo menos un tratamiento presentará un efecto distinto.

Siendo el efecto del tratamiento de suelos contaminados determinado por los valores obtenidos de TPH F2.

En el Grafico N° 5.4 se puede apreciar los resultados de la comparación de las medianas de los valores de TPH F2 de los cuatro tratamientos expresados mediante la dosificación de compost.

**GRAFICO N° 5. 6 – PRUEBA DE H DE KRUSKAL-WALLIS, DISTRIBUCIÓN DE MEDICIONES DE TPH F2 MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS**

**Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes**



Sin Compost= M1, Compost al 40%= M2, Compost al 50%= M3, Compost al 60%= M4

<b>N total</b>	12
<b>Estadístico de contraste</b>	9,462
<b>Grados de libertad</b>	3
<b>Sig. asintótica (prueba bilateral)</b>	,024

1. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama de cajas del GRAFICO N° 5.5 se puede visualizar gráficamente los valores de las medianas por tratamiento, siendo los

extremos de las cajas los valores máximos y mínimos y la altura de la caja representando la diferencia entre la dispersión de esos valores. La línea negra horizontal dentro de la caja expresa la mediana de los valores de TPH F2 por tratamientos.

**TABLA N° 5. 10 – RESUMEN DE PRUEBA DE H DE KRUSKAL-WALLIS, DISTRIBUCIÓN DE MEDICIONES DE TPH F2**

**Resumen de prueba de hipótesis**

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
<b>1</b>	La distribución de TPH.F2 es la misma entre las categorías de Dosificación.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,024	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la programación del SPSS, las dosificaciones expresadas en la tabla N°5.10 hacen referencia a los tratamientos propuestos, y la distribución de TPH F2 al efecto de los tratamientos sobre la remoción de TPH en suelo.

Cómo se puede observar en el la TABLA N° 5.10, la significancia resultante es 0.24, menor a 0.05; por ende se rechaza la hipótesis nula, demostrando que existen diferencias en los resultados finales de TPH – F2 de los cuatro tratamientos propuestos y por ende en la diferencia de los efectos en el suelo por parte de los tratamientos propuestos.

c) Pruebas Post Hoc

Se realizó una prueba posterior al análisis de varianza para comparar tratamiento por tratamiento mediante la prueba de la U de Mann-Whitney por parejas. Se utilizó la siguiente prueba debido a que los datos obtenidos para TPH F2 no cumplen con la normalidad, y por ende no pueden ser analizados por procedimientos estadísticos paramétricos, se optó por una prueba de comparación no paramétrica por parejas.

**TABLA N° 5. 11 – COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS  
MEDIANTE PRUEBA DE LA U DE MANN-WHITNEY**

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Compost al 60%-Compost al 50%	1,000	2,944	,340	,734	1,000
Compost al 60%-Compost al 40%	5,000	2,944	1,698	,089	,537
Compost al 60%-Sin Compost	8,000	2,944	2,717	,007	,039
Compost al 50%-Compost al 40%	4,000	2,944	1,359	,174	1,000
Compost al 50%-Sin Compost	7,000	2,944	2,378	,017	,105
Compost al 40%-Sin Compost	3,000	2,944	1,019	,308	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

Sin Compost= M1, Compost al 40%= M2, Compost al 50%= M3, Compost al 60%= M4

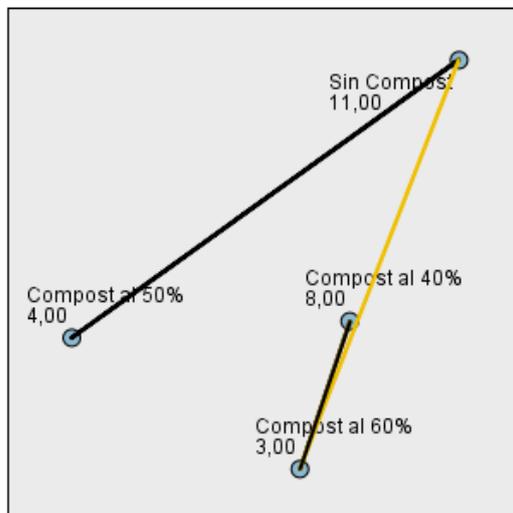
Fuente: Elaboración Propia

Debido a la programación del SPSS, las dosificaciones expresadas en la TABLA N° 5.11 hacen referencia a los tratamientos propuestos. Se comparó por parejas los 4 tratamientos expresados mediante su porcentaje de dosificación de compost, resultando en 6 grupos de pares para comparar.

En la TABLA N° 5.11 se puede apreciar la comparación de las medianas de cada tratamiento, siendo la comparación del tratamiento M4: Compost al 60% y el tratamiento M1: Sin Compost la única comparación cuya significancia es menor que 0.05, por lo cual su diferencia entre esos tratamientos es significativa.

**FIGURA N° 5. 2 – GRAFICO DE NODOS – PRUEBA DE U DE MANN-WHITNEY PARA MEDICIONES DE TPH – F2**

**Comparaciones entre parejas de Dosificación**



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Dosificación.

Fuente: Elaboración Propia

Tras la comparación de tratamientos por pares debido a la prueba de la U de Mann-Whitney, se optó en ilustrar los resultados mediante un gráfico de nodos para su mejor visualización.

En la FIGURA N° 5.2 se puede apreciar la diferencia entre las medianas de los 4 tratamientos, expresados gráficamente en dosificaciones de compost; siendo las líneas negras las diferencias no significativas, y la línea amarilla la diferencia significativa. Siendo la comparación del tratamiento M4: Compost al 60% y el tratamiento M1: Sin Compost la única comparación significativa. Los valores expresados al costado de los nodos corresponden al estadístico de contraste, que en este caso es el Chi cuadrado.

### 5.2.3. Análisis Comparativo TPH-F3

Se realiza el análisis comparativo de las concentraciones finales de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fracción F3 medidos después de la aplicación de los tratamientos propuestos, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos propuestos. El análisis estadístico se realizará según lo expuesto en el ítem 4.6.1.3., teniendo en cuenta los casos siguientes de la figura N° 5.1– Procedimiento de análisis estadístico según el comportamiento de los datos obtenidos.

Siendo nuestra variable de medición numérica se optará por la prueba estadística paramétrica ANOVA, para lo cual los datos obtenidos deben cumplir con la normalidad esperada para este tipo de análisis estadístico; si los datos no cumplen con la normalidad se optará por el procedimiento estadístico no paramétrico H de Kruskal-Wallis.

Los análisis estadísticos descritos a continuación se realizaron mediante el programa IBM SPSS Statistics 25.

#### a) Prueba de normalidad

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk (TABLA N° 5.12) como prueba de normalidad, debido a que las repeticiones de las unidades experimentales son menores de 50 (12 para la presente tesis), así como se muestra la tabla N°4.1.

Para la presente prueba se tienen las siguientes hipótesis estadísticas:

- $H_0$ : La distribución de los datos de los 4 tratamientos es normal
- $H_1$ : La distribución de los datos de los 4 tratamientos no es normal

**TABLA N° 5. 12 - PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK  
PARA TPH F3**

Pruebas de normalidad

	Dosificación	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
TPH.F3	M1: Sin Compost	0,956	3	0,595
	M2: Compost al 40%	0,836	3	0,204
	M3: Compost al 50%	0,779	3	0,065
	M4: Compost al 60%	0,823	3	0,170

Fuente: Elaboración Propia

La hipótesis nula no se rechaza si la significancia en cada tratamiento es mayor a 0.05; si se cumple lo anterior se consigue la normalidad esperada para poder comparar los tratamientos mediante el procedimiento estadístico de ANOVA.

La significancia de los 4 tratamientos para las mediciones de TPH – F3 son mayores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis de que los 4 grupos tienen un comportamiento normal. Se procede a comparar las mediciones mediante la prueba estadística paramétrica ANOVA.

b) Análisis de la Varianza mediante ANOVA

Antes de realizar la comparación de los tratamientos mediante el análisis de la varianza ANOVA se tiene que demostrar que los datos presentan homogeneidad de varianza u homocedasticidad; para ello se realizará la prueba de igualdad de Levene.

Prueba de homogeneidad de varianza

Para la presente prueba se tienen las siguientes hipótesis estadísticas:

- $H_0$ : La varianza del error de los 4 tratamientos es igual
- $H_1$ : La varianza del error de los 4 tratamientos no es igual

**TABLA N° 5. 13 – PRUEBA DE IGUALDAD DE LEVENE PARA LAS MEDICIONES DE TPH F3**

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error<sup>a,b</sup>

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TPH.F3	Se basa en la media	1,140	3	8	0,390
	Se basa en la mediana	0,186	3	8	0,903
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,186	3	6,195	0,903
	Se basa en la media recortada	0,999	3	8	0,441

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Variable dependiente: TPH.F3

b. Diseño : Intersección + Dosificación

Fuente: Elaboración Propia

La prueba de Levene para la igualdad de varianzas nos indica si podemos o no suponer varianzas iguales. La hipótesis nula se aprueba si la significancia es mayor a 0.05; si se cumple lo anterior se consigue la homogeneidad de varianza esperada para poder comparar los tratamientos mediante el procedimiento estadístico de ANOVA.

Como se aprecia en la TABLA N° 5.13, la significancia en la prueba de Levene es mayor de 0.05, por lo tanto se aprueba la hipótesis nula en esta prueba que afirma que las varianzas en los 4 tratamientos son iguales, y por ello comparables.

Una vez demostrada homogeneidad de varianza se procede al análisis ANOVA.

### ANOVA

Mediante el análisis de la varianza de las medias se compara la variabilidad de la distribución del parámetro TPH – F3 en los 4 tratamientos, partiendo de:

- H<sub>0</sub>: Los cuatro tratamientos propuestos (cuatro dosificaciones empleadas de compost) poseen el mismo efecto en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Fracción F3.
- H<sub>1</sub>: Los cuatro tratamientos propuestos (cuatro dosificaciones empleadas de compost) no poseen el mismo efecto en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Fracción F3, por lo menos un tratamiento presentará un efecto distinto.

Siendo el efecto del tratamiento de suelos contaminados determinado por los valores obtenidos de TPH F3.

**TABLA N° 5. 14 – TABLA ANOVA PARA MEDICIONES DE TPH F3**

Tabla de Análisis de Varianza

Variable dependiente: TPH.F3					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2186164467,583 <sup>a</sup>	3	728721489,194	52,448	,000
Intersección	9701851404,083	1	9701851404,083	698,274	,000
Dosificación	2186164467,583	3	728721489,194	52,448	,000
Error	111152417,333	8	13894052,167		
Total	11999168289,000	12			
Total corregido	2297316884,917	11			

a. R al cuadrado = .952 (R al cuadrado ajustada = .933)

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la programación del SPSS, las dosificaciones expresadas en la TABLA N°5.14 hacen referencia a los tratamientos propuestos. La hipótesis nula se rechaza si la significancia es menor a 0.05.

En la TABLA N° 5.14 se puede apreciar los resultados del análisis ANOVA, cuyo valor de la significancia es menor a 0.05, por lo cual se niega la hipótesis nula y se prueba la alterna, evidenciando que existen diferencias significativas entre los tratamientos propuestos para TPH F3.

c) Pruebas Post Hoc

Se realiza una prueba posterior al análisis de varianza para comparar tratamiento por tratamiento mediante la prueba HSD Tukey (TABLA N° 5.15).

Tukey es un una prueba de comparaciones múltiples que permite comparar las medias de los tratamientos por pares, partiendo de las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : Las medias de los tratamientos son iguales
- $H_1$ : Las medias de los tratamientos no son iguales

**TABLA N° 5. 15 - COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS MEDIANTE LA PRUEBA HSD TUKEY.**

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: TPH.F3							
	(I) Dosificación	(J) Dosificación	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	M1: Sin Compost	M2: Compost al 40%	27344,6667*	3043,46865	,000	17598,4087	37090,9246
		M3: Compost al 50%	31554,6667*	3043,46865	,000	21808,4087	41300,9246
		M4: Compost al 60%	33377,0000*	3043,46865	,000	23630,7421	43123,2579
	M2: Compost al 40%	M1: Sin Compost	-27344,6667*	3043,46865	,000	-37090,9246	-17598,4087
		M3: Compost al 50%	4210,0000	3043,46865	,542	-5536,2579	13956,2579
		M4: Compost al 60%	6032,3333	3043,46865	,270	-3713,9246	15778,5913
	M3: Compost al 50%	M1: Sin Compost	-31554,6667*	3043,46865	,000	-41300,9246	-21808,4087
		M2: Compost al 40%	-4210,0000	3043,46865	,542	-13956,2579	5536,2579

		M4: Compost al 60%	1822,3333	3043,46865	,930	-7923,9246	11568,5913
	M4: Compost al 60%	M1: Sin Compost	-33377,0000*	3043,46865	,000	-43123,2579	-23630,7421
		M2: Compost al 40%	-6032,3333	3043,46865	,270	-15778,5913	3713,9246
		M3: Compost al 50%	-1822,3333	3043,46865	,930	-11568,5913	7923,9246
Se basa en las medias observadas.							
El término de error es la media cuadrática (Error) = 13894052.167.							
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.							

Sin Compost= M1, Compost al 40%= M2, Compost al 50%= M3, Compost al 60%= M4  
Fuente: Elaboración Propia

Cómo se puede determinar en la TABLA N° 5.15 el valor de significancia menor a 0.05 significa que existen diferencias significativas entre tratamientos. Siendo el tratamiento M1: sin Compost el que muestra diferencias significativas con los tratamientos M2, M3 y M4 respectivamente.

Para mejor análisis se realizó una prueba de contraste de Subconjuntos homogéneos, el cual se detalla en la TABLA N° 5.16

En la TABLA N° 5.16 se puede constatar que se forman 2 subconjuntos, siendo el tratamiento M1: Sin compost – atenuación natural el tratamiento que presenta diferencias significativas respecto a los tratamientos M2, M3 y M4; comprobando lo expuesto en el la TABLA N° 5.15.

Cabe resaltar que el subconjunto homogéneo no es una prueba que compruebe o rechace alguna hipótesis; simplemente es una forma de mostrar los resultados de la Prueba HSD Turkey en forma de subconjuntos según su significancia.

**TABLA N° 5. 16 – SUBCONJUNTOS HOMOGENEOS MEDIANTE LA PRUEBA HSD TURKEY**

TPH.F3				
	Dosificación	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	M4: Compost al 60%	3	18126,0000	
	M3: Compost al 50%	3	19948,3333	
	M2: Compost al 40%	3	24158,3333	
	M1: Sin Compost	3		51503,0000
	Sig.		,270	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 13894052.167.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

Fuente: Elaboración Propia

#### **5.2.4. Eficiencia de Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3**

En la siguiente TABLA N° 5.17 se muestra las medias de la Eficiencia de Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracciones F2 y F3 en el suelo.

La media de la Eficiencia en la Remediación de Suelos de TPH F2 se muestra que en los Tratamiento M3 (50 w/w) y M4 (60 w/w) se obtuvieron los más altos valores con 80.56% y 83.65% respectivamente; para el tratamiento M1 donde no hubo aplicación de compost y no hubo germinación de las semillas del maíz presento un valor de 18.16%.

**TABLA N° 5. 17 – EFICIENCIAS DE REMOCIÓN TPH F2 Y F3 POR TRATAMIENTO**

Resultados de las medias de eficiencias de remediación de TPH F2 y F3 de cada tratamiento (M1, M2, M3 y M4), el tratamiento M1 registró el valor más bajo con 18.16 % y 1.05 % para TPH F2 y F3 respectivamente; el tratamiento M4 registro el valor más alto con 83.65 % y 65.18 % para TPH F2 y F3.

<b>EFICIENCIA DE REMOCIÓN TPH F2 Y F3 - ALTURA DE PLANTAS</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Código de Tratamiento</b>	<b>Altura de Plantas por Tratamiento (cm)</b>	<b>Eficiencia de Remediación (%) - TPH F2</b>	<b>Eficiencia de Remediación (%) - TPH F3</b>
<b>Suelo Agrícola 4 Kg - Control</b>	<b>M0</b>	17 ± 0.42	0.00%	0%
<b>Suelo Contaminado 4 Kg - Atenuación Natural</b>	<b>M1</b>	0	18.16%	1.05%
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 40% (w/w) Compost</b>	<b>M2</b>	7 ± 6.91	71.42%	53.59%
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 50% (w/w) Compost</b>	<b>M3</b>	9 ± 3.12	80.56%	61.67%
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost</b>	<b>M4</b>	18 ± 1.90	83.65%	65.18%

Nota: En cada maceta se sembró 5 semillas de maíz

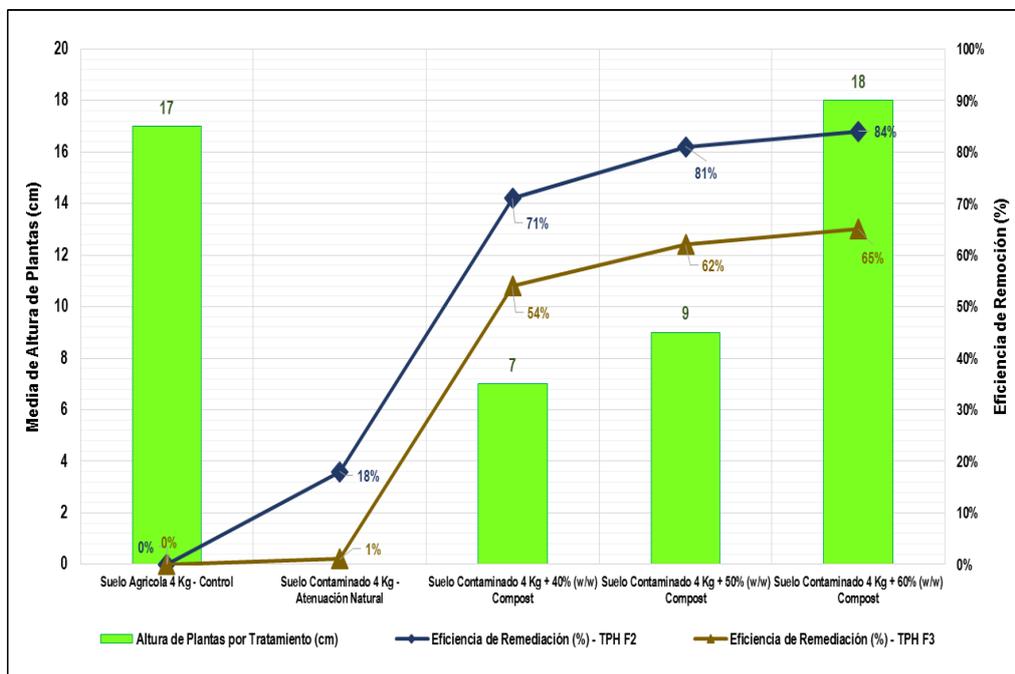
Fuente: Elaboración Propia

La media de la eficiencia en la remediación de Suelos de TPH F3 de igual manera se obtuvo los valores más altos en los tratamientos M3 y M4 con los valores de 61.67% y 65.18% respectivamente. En el tratamiento M1 la eficiencia fue muy baja con solo el 1.05%.

De acuerdo al Gráfico N° 5.7 se observa que la eficiencia de remediación aumenta con la dosis de concentración de compost en cada tratamiento, además la mayor eficiencia de remediación de suelos para TPH F2 y F3 es en el tratamiento M4 que también cuenta con la mayor altura de plantas de maíz.

### GRAFICA N° 5. 7 – RELACIÓN DE EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN, ALTURA DE PLANTA Y DOSIS DE COMPOST

El comportamiento de la eficiencia de remediación con el aumento de la concentración de compost en los tratamientos permitió el mejor desarrollo de las plantas de maíz; esto se ve reflejado en el tratamiento M3 y M4 que tuvieron eficiencias de remediación aproximadas con 80.56 % y 83.57 % para F2, 61.67% y 65.18% para F3; pero en el tratamiento M4 las plantas de maíz se desarrollaron con una altura promedio de 18 cm siendo casi el doble de la altura de las plantas de maíz para el tratamiento M3 que fue de 9 cm.



Fuente: Elaboración Propia

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la Hipótesis con los resultados

#### Para TPH F2

La caracterizar fisicoquímicamente el suelo contaminado con pasivos de hidrocarburos de un pozo petrolero, se obtuvo como concentración inicial para TPH F2 34,131 mg/kg; Ver Tabla N° 5.7, el cual excede en 682.72% la concentración límite de TPH Fracción F2 del Estándar de Calidad de Suelo para Suelo de Uso Industrial/Extractivo (D.S. N° 011-2017-MINAM), que tiene un valor de 5,000 mg/kg.

Al finalizar los 90 días del experimento se obtuvieron los siguientes resultados de los cuatro tratamientos propuestos mostrados en la Tabla N° 5.17 y en el Anexo N° 3, donde apreciamos que el mayor porcentaje de eficiencia remoción se presentó en el tratamiento M4.3 (con compost al 60% (w/w), repetición tres) con 86.11 % de remoción, en comparación al mínimo porcentaje presentado en el tratamiento M1.3 (atenuación Natural - Suelo contaminado + maíz, repetición tres) con 15.64 % de remoción.

Podemos observar que M1 (Atenuación natural - Suelo contaminado + maíz) presenta un 18.16% de eficiencia de remoción, representando este valor la capacidad depuradora del suelo contaminado sin intervención humana para remediar TPH F2. Esto es comparable con los porcentajes de remoción promedios obtenidos de 71.42%, 80.56%, 83.65% para los tratamientos M2, M3, M4 respectivamente.

Al realizar el análisis de varianza mediante H de Kruskal-Wallis se pudo demostrar estadísticamente que los cuatro tratamientos muestran diferencias en su concentración final de TPH F2, siendo estos determinados por la cantidad de compost agregados en los distintos

tratamientos. Al comparar los resultados obtenidos mediante la prueba de la U de Mann-Whitney podemos analizar el comportamientos de los resultados y precisar que el tratamiento M4 (Suelos Contaminados + Maíz + Compost 60% w/w) presenta diferencias significativas en la concentración final de TPH ( $5580.33 \pm 1435$  ml/kg) respecto a los otros tratamientos; presentándose los valores de las concentraciones finales de TPH más parecidos en los tratamientos M1, M2, M3 con  $27,931.33 \pm 794$ ,  $9,754.33 \pm 2,027$ ,  $6635 \pm 570$  respectivamente; siendo el M4 el que presenta mayor cantidad de compost en relación al peso de suelo contaminado. Demostrando así que el tratamiento combinado de compost y *Zea mays* (maíz) remueve hidrocarburos totales de petróleo Fracción F2 en los suelos contaminados por pasivos de pozos petroleros.

A pesar de las concentraciones elevadas de los contaminantes en el suelo, se ha podido cumplir con los objetivos planteados en la presente tesis; además se obtuvieron resultados satisfactorios en el tratamiento planteado durante el periodo de la experimentación para la Fracción F2.

### **Para TPH F3**

Similar al análisis de TPH F2, se obtuvo como concentración inicial para TPH F2 52,050 mg/kg; Ver Tabla N° 5.8, el cual excede en 867.50% la concentración límite de TPH Fracción F3 del Estándar de Calidad de Suelo para Suelo de Uso Industrial/Extractivo (D.S. N° 011-2017-MINAM), que tiene un valor de 6,000 mg/kg.

Al finalizar los 90 días del experimento se obtuvieron los siguientes resultados de los cuatro tratamientos propuestos mostrados en la Tabla N° 5.17 y en el Anexo N° 3, donde apreciamos que el mayor porcentaje de eficiencia remoción se presentó en el tratamiento M4.3 (con compost al 60% (w/w), repetición tres) con 71.23% de eficiencia de remoción, en comparación al mínimo porcentaje presentado en el tratamiento M1.3 (atenuación Natural - Suelo contaminado + maíz, repetición tres) con -8.05

% de remoción, es decir que la concentración de TPH F3 se incrementó, esto podría ser debido a la degradación de cadenas más largas que F3.

Podemos observar que M1 (Atenuación natural - Suelo contaminado + maíz) presenta un 1.05% de eficiencia de remoción, representando este valor la capacidad depuradora del suelo contaminado sin intervención humana para remediar TPH F3. Esto es comparable con los porcentajes de remoción promedios obtenidos de 53.89%, 61.67%, 65.18% para los tratamientos M2, M3, M4 respectivamente.

Al realizar el análisis de varianza ANOVA se pudo demostrar estadísticamente que los cuatro tratamientos muestran diferencias en su concentración final de TPH F3, siendo estos determinados por la cantidad de compost agregados en los distintos tratamientos. Al comparar los resultados obtenidos en los tratamientos mediante la prueba HSD Tukey podemos analizar el comportamiento de los resultados y precisar que el tratamiento M1 (atenuación natural) presenta la mayor diferencia significativa en la concentración final de TPH F3 ( $51,503 \pm 4,311$  mg/kg) respecto a los otros tratamientos; presentándose los valores de las concentraciones finales de TPH más parecidos en los tratamientos M2, M3, M4 con  $24158.33 \pm 3,134$ ,  $19948.33 \pm 2,150$ ,  $18126 \pm 4,747$  respectivamente. Demostrando así que el tratamiento combinado de compost y *Zea mays* (maíz) remueve hidrocarburos totales de petróleo en los suelos contaminados por pasivos de pozos petroleros.

A pesar de las concentraciones elevadas de los contaminantes en el suelo, se ha podido cumplir con los objetivos planteados en la presente tesis; además se obtuvieron resultados satisfactorios en el tratamiento planteado durante el periodo de la experimentación para la Fracción F3.

## Comportamiento del maíz

La cantidad promedio de semillas germinadas fue de 4 para los tratamientos M3 (50% w/w) y M4 (60% w/w); sin embargo al evaluar el desarrollo de la altura del maíz se observó que en el tratamiento M3 las plantas llegaron a medir en promedio 9 cm mientras que en tratamiento M4 fue de 18 cm en promedio; el tratamiento M2 que tuvo la menor concentración de Compost (40% w/w) tuvo en promedio 3 semillas germinadas y la altura de sus plantas en promedio fue de 7 cm, mientras que en el tratamiento M1 donde no se adicionó compost no se germinó ninguna de las 5 semillas plantadas en cada una de las réplicas, esto nos indica que la proporción en peso de compost en M4 influyó en el mejor desarrollo del maíz evidenciando un mejor crecimiento y una mayor eficiencia de remoción de TPH, esto debido a la mayor disponibilidad de nutrientes necesarios para el desarrollo y metabolismo del maíz, y microorganismos asociados.

Las eficiencias de remoción de TPH de F2 y F3 nos muestra que para ambos casos fue mayor al 50%, sin embargo se observa que F2 tiene mejor eficiencia de remoción que F3; esto es concordante con Jiang (2016) que menciona que los hidrocarburos alifáticos de longitud intermedia (C-10 y C-25) pueden ser degradados con mayor facilidad por los microorganismos presentes en el suelo a pesar de su baja solubilidad, mientras que los hidrocarburos alifáticos de cadena más larga (C-25 y C-40), especialmente aquellos con estructuras de cadena ramificada o cíclica, tienen mayor resistencia a la degradación biológica.

### 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En la investigación realizada por Liao (2015) Acumulación de Hidrocarburos por maíz (*Zea mays L.*) en la remediación de suelos contaminados con petróleo crudo que buscaba evaluar la adaptabilidad del maíz a diferentes concentraciones de TPH en un periodo de 60 días,

es importante mencionar que el maíz utilizado fue un trasplante de plántulas a comparación de nuestra experimentación que se sembró el Maíz directamente en el suelo.

Los resultados de los tratamientos evidenciaron que a una concentración menor o igual de 2 147 mg/kg de TPH ayudaba a una mayor generación de biomasa para la germinación del maíz, asimismo indicaba que a una concentración de 6 373 mg/kg de TPH no influenciaba significativamente en el crecimiento del maíz. En nuestro experimento las concentraciones iniciales de todos los tratamientos fueron superiores a las del experimento del autor (34 131 mg/kg y 52 050 mg/kg para F2 y F3 respectivamente).

Los resultados de las características del Suelo del experimento de Liao (2015) presenta un 1.3 % de Materia Orgánica, en nutrientes 24 500 mg/kg de N, 4320 mg/kg de P y 397 mg/Kg de K; por nuestra parte nuestro suelo contiene un 10.46% de Materia Orgánica, en nutrientes 6.88% (68,800 mg/Kg) de N, 435.4 mg/Kg de P y 1212.2 mg/Kg de K; como se observa en nuestro suelo tiene una deficiencia de disponibilidad de (K) tomando en consideración la proporción de nutrientes que trabajo Liao (2015); sin embargo según Wu (2013) la relación que debe de haber entre N y P debe de estar de 5 - 10 (N) : 1 (P), esta relación se cumple para el experimento de Liao (2015) mientras que para nuestro experimento tenemos una relación de 15 (N) : 1 (P), es decir existe una deficiencia en disponibilidad P; esto puede explicar la inhibición de la germinación del maíz en el suelo sin compost.

Esto nos indica que nuestro suelo por sí solo no era capaz de permitir el desarrollo de maíz que se evidencia en el tratamiento M1 que inhibió la germinación del maíz y tuvo la más baja eficiencia promedio de remoción de TPH con 18.16% F2 y 1.08% F3, además considerando que la concentración inicial de nuestro suelo tenía 6 veces más de concentración

de TPH (34 131 mg/Kg F2 y 52 050 mg/Kg F3) de lo trabajado por Liao (2015) que fue en un rango de 2000 - 6000 mg/Kg.

Para el desarrollo y germinación del maíz se debe tener en cuenta la disponibilidad de nutrientes (N, P, K); explicando de esta manera la importancia de añadir el compost como fuente de nutrientes como P y K, que en nuestro experimento se añadió 8 700 mg de (K) / kg de compost y 9 300 mg de (P) / de compost.

Esto es concordante con nuestra investigación pues el maíz pudo mejorar su germinación y desarrollo mientras se aumentaba su concentración en los tratamientos propuestos alcanzando eficiencias de remoción en un rango de 71.42% - 83.65% para F2 y 53.59% - 65.18% para F3.

Adekunle (2011) en la investigación llamada Biorremediación de Suelos Contaminados con Productos Petrolíferos Nigerianos utilizando Desechos Municipales Compostados cuyo objetivo era evaluar la eficiencia de los desechos orgánicos municipales sobre la degradación de los TPH en suelos contaminados con productos petrolíferos (petróleo crudo, diesel y aceite de motor gastado) en tres fases: 1) evaluar la eficacia del compost convencional (convcomp) y el complementado con algunos nutrientes inorgánicos (fortcomp), 2) evaluar efecto del compost combinado (convcomp) y el procedimiento de fitorremediación mediante el limón (*Cymbopogon citratus*). 3) evaluar el efecto de diferentes proporciones de compost: suelo, usando convcomp. El experimento se llevó a cabo durante 90 días.

Adekunle presentó porcentaje de remediación de  $61.52\% \pm 23.66\%$  y  $42.27\% \pm 18.06\%$  para suelos contaminados con petróleo crudo (C inicial:  $23,000 \pm 101$  mg/kg) en tratamiento con convcomp y fortcomp respectivamente. También observó una reducción del 66% en la concentración de TPH para suelos contaminados con aceite de motor

gastado (C inicial:  $18,333 \pm 97$  mg/kg) para el tratamiento con fitorremediación suplementada con compost. Estos resultados son inferiores al porcentaje de remoción presentados en los tratamientos con adición de compost (M2, M3, M4), los cuales son mayores al 71% para F2 de la presente investigación; sin embargo, presentan valores aproximadamente iguales para el tratamiento M3 y M4 con 62% y 65% porcentaje de remoción para F3 respectivamente.

Los valores medios de las características básicas del suelo fueron  $7.45 \pm 0.08$  para pH,  $1.64 \pm 0.11$  mEq/100 g para capacidad de intercambio catiónico,  $5.46\% \pm 0.25\%$  para contenido de materia orgánica,  $89.05\% \pm 1.1\%$  para arena,  $9.15\% \pm 0.05\%$  para limo y  $1.9\% \pm 0.1\%$  para arcilla; presentando una textura del suelo como un suelo arenoso típico. En comparación con los valores obtenidos en la tesis presente: 7.26 para pH, 2.125 mEq/100 g para capacidad de intercambio catiónico, 10.46% para contenido de materia orgánica, 68% para arena, 8 % para limo y 24% para arcilla; resultando un suelo Franco Arcillo Arenoso.

El compost convencional contenía:  $0.85\% \pm 0.05\%$  de nitrógeno,  $0.22\% \pm 0.01\%$  de fósforo,  $0.013\% \pm 0.001\%$  de potasio; en comparación con lo reportado en la presente tesis (Tabla N° 5.4) cuyos valores del compost fueron: 0.6% de nitrógeno, 0.87 % fósforo, 0.93% potasio. Donde podemos inferir que el nitrógeno presente en el compost utilizado es menor que el compost utilizado por Adenuke; sin embargo, se encuentra dentro del rango establecido por Román (2013) para un compost óptimo. Ver Tabla N° 5.5 – Contenido de N, P, K en el Compost.

Los tratamientos aumentaron el pH en suelo, y esto concuerda con la tendencia de los valores observados de pH en los 4 tratamientos planteados durante los 90 días de tratamiento (Ver Anexo N° 3). Esto implicó una capacidad de amortiguación para suelos ácidos. Los resultados de este estudio también demostraron los efectos positivos del

aumento de la dosis de compost en la degradación de TPH, el pH del suelo. Según Mantovani et al. 2005, esto puede deberse a que el compost contiene aniones orgánicos solubles en agua (R-COO<sup>-</sup> y R-O<sup>-</sup>) que, cuando se liberan, pueden adsorber H<sup>+</sup> de la solución del suelo mediante reacciones de intercambio, que involucran principalmente iones Ca<sup>2+</sup>. Otra explicación es la producción de iones de OH durante la mineralización del carbono orgánico del compost de desechos urbanos (Hargreaves et al. 2008).

En suelos contaminados con diésel, sin ningún tratamiento, se observó una toxicidad del 100% para la germinación de la semilla del limón (*Cymbopogon citratus*), ya que la germinación de la semilla se inhibió por completo; siendo los resultados equivalentes a lo observado en el tratamiento M1 (atenuación natural), por lo cual podemos inferir que la toxicidad en M1 es del 100% para las semillas del *Zea mays* (maíz).

A pesar que en el experimento de Adenuke en suelo contaminado con petróleo crudo (18, 333 ± 97 mg / kg) si hubo germinación de semillas y aumento en el crecimiento de plantas en ausencia de compost, demostrando que en ciertas concentraciones el petróleo crudo mejora la fertilidad del suelo; esto no es contrastado con la presente Investigación, debido a la concentración inicial elevada de TPH (F2: 34,131 mg/kg y F3: 52,050 mg/kg) observadas en la presente tesis.

El cambio mejorado en la altura de la planta de la primera a la segunda semana en los suelos tratados sobre los suelos no tratados, fue una demostración del valor fertilizante de los composts aplicado; resultado demostrado con lo observado en la presente tesis, en el cual se demostró que la altura promedio a los 90 días de tratamiento de la *Zea mays* (maíz) fue directamente proporcional al incremento del porcentaje en peso del compost agregado.

En el estudio de Besalatpour (2010) Recuperación de un Suelo Calcáreo Contaminado con Petróleo usando Fitoestimulación que tenía como objetivo principal era evaluar la remediación de los hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) mediante el uso de las plantas festuca alta (*Festuca arundinacea* L.), agropyron (*Agropyron smithii* L.), cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) a diferentes concentraciones de TPH en el suelo, los cuales se denominaron como C0 (<50 mg/Kg), C1 (40,360 mg/Kg) y C2 (69,760 mg/Kg) en un periodo de 18 semanas sin fertilización. Como objetivo específico este experimento tuvo en cada tratamiento (C0, C1 y C2) un suelo con diferentes características fisicoquímicas y como las plantas de cada tratamiento se comportaron durante la experimentación. En comparación con nuestra investigación las concentraciones de TPH del estudio son similares a las del suelo de nuestra investigación que fue de 34,131 mg/Kg TPH F2 (C10-C28) y 52,050 mg/Kg TPH F3 (C28-C40), a pesar que el comportamiento de *Zea mays* (maíz) como la germinación de semillas y altura de plantas no es un objetivo de nuestra tesis estos datos fueron tomados en cada tratamiento para poder ver la influencia de la concentraciones de TPH mencionadas y las diferentes concentraciones de compost (0% w/w, 40% w/w, 50% w/w, 60% w/w).

Los resultados presentados por Besalatpour (2010) de las características del suelo para el tratamiento C1 y C2 para TPH fueron de 40,360 mg/kg y 69,760 mg/kg respectivamente. Además el suelo de C1 tuvo 23 % Arcilla, 7.7 pH, 4.7 % Materia Orgánica, 0.6 % Nitrógeno (N), 74 mg/kg Fósforo (P) y 125 mg/kg Potasio (K); y para C2 tuvo 20 % Arcilla, 7.1 pH, 7.5 % Materia Orgánica, 0.9 % Nitrógeno (N), 124 mg/kg Fósforo (P) y 128 mg/kg Potasio (K); a pesar que el tratamiento C2 tuvo mejores concentraciones de N, P y K, que favorecen el desarrollo de las plantas pero para C2 tuvo resultados de una disminución entre 40% al 60% del crecimiento de las plantas en comparación con el tratamiento C1, esto es debido a la exposición de concentraciones altas de TPH tuvieron un efecto

tóxico en las plantas e incluso lograr inhibir su desarrollo. Además que la disminución del desarrollo de las plantas fue más notorio con el aumento de las concentraciones de TPH.

En contraste con la presente investigación las características de nuestro suelo para todos nuestros tratamientos (M1, M2, M3 y M4) tenía una concentración de 34,131 mg/kg TPH - F2 y 52,050 mg/kg TPH - F3 , 24 % Arcilla, 7.3 pH, 10.46 % Materia Orgánica, 6.88 % N, 435.4 mg/kg P y 1212.2 mg/kg K y que nuestro suelo fue enmendado con compost en diferentes concentraciones (0% w/w, 40% w/w, 50% w/w y 60% w/w) a diferencia de Besalatpour (2010) que no enmendó ningún tratamiento. Nuestro tratamiento M1 con 0% w/w de compost tuvo una inhibición de la germinación de las semillas de *Zea mays* (maíz), esto corrobora la necesidad de enmendar con compost para poder dar las condiciones del desarrollo de las plantas. Los suelos empleados por Besalatpour (2010) mostraron menos concentraciones de nutrientes que el suelo empleado en esta tesis y sin la necesidad de enmendar el suelo pudieron lograr germinación de plantas como el agropión y la festuca alta que mostraron una mayor tolerancia a concentraciones altas de TPH.

Los resultados Besalatpour (2010) logró que la concentración de TPH disminuya en 71 y 69% en el tratamiento con el Agropyron y festuca alta para C1 y, en 45 y 42% en el tratamiento con C2. Nuestra investigación se tuvo la necesidad de enmendar el suelo como mínimo en un 40% w/w de compost para germinar *Zea mays* y obtener más de 71% de remoción de TPH F2 y 61.67 % de remoción de TPH F3; esto posiblemente se debe a la propia características de resistencia a ciertas concentraciones y nutrientes requeridos de las plantas utilizadas para ambos tratamientos

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Toda la información y resultados presentados en la presente tesis son reales, con el único fin de contribuir un valor científico y bien común.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos se concluye que la aplicación de compost y *Zea Mays* (Maíz) como tratamiento para la remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 es viable presentando remociones mayores al 71% y 53 % para Hidrocarburos totales de petróleo fracción F2 y F3 respectivamente.
- La muestra obtenida del suelo perteneciente a un pasivo ambiental de un pozo petrolero del distrito de Pariñas, Piura; contiene concentraciones de 34,131 mg/kg de TPH - F2 y 52,050 mg/kg de TPH - F3, sobrepasando el Estándar de Calidad Ambiental para suelos (ECA - Suelos) para las actividades extractivas – industriales, cuyos valores son de 5000 mg/kg y 6000 mg/kg para fracción F2 y F3 respectivamente.
- Se determinó que la textura del suelo es “Franco Arcillo Arenoso” de acuerdo al Sistema USDA (de Recursos Naturales, 2014). Además de ello se determinó que la muestra contiene: 10.46% de Materia Orgánica, 6.88% (68,800 mg/Kg) de N, 435.4 mg/Kg de P y 1212.2 mg/Kg de K. Mientras que el compost obtenido de la Universidad Agraria la Molina (UNALM) contiene Nitrógeno (N) 0.6%, Fósforo (P) 0.87% y Potasio (K) 0.93, y se encuentra dentro del rango de valores establecidos por Román (2013) en el Manual de Compostaje del Agricultor – FAO.
- La eficiencia de remediación de TPH F2 y F3 aumenta con la dosis de concentración de compost en cada tratamiento, la dosis óptima de compost para nuestra investigación fue la empleada en el tratamiento M4 (60% w/w Compost), debido que se logró mayor eficiencia de remediación de suelos para TPH F2 y F3; además de una mejor germinación y desarrollo de la mayor altura de plantas de maíz en comparación con los tratamiento M1 (0 w/w Compost), M2 (40% w/w Compost) y M3 (50% w/w Compost).

- La concentración final de TPH disminuyó considerablemente a todos los tratamientos que se agregó compost, teniendo como valores finales promedios para la Fracción F2: 27 931.33 mg/Kg para M1; 9 754.33 mg/Kg para M2; 6 635.009 mg/Kg para M3 y 5 580.33 mg/Kg para M4. Mientras que los valores promedios para la Fracción F3 fueron los siguientes: 51 503.00 mg/Kg para M1; 24 158.33 mg/Kg para M2; 19 948.33 mg/Kg para M3 y 18 126.00 mg/Kg para M4. Considerando que no es parte de los objetivos iniciales la obtención de concentraciones finales de TPH cercanos al ECA Suelos, por las altas concentraciones iniciales de TPH; se pudo concluir que las concentraciones finales de los tratamientos M4.1 (4762 mg/Kg) y M4.3 (4742 mg/Kg) presenten valores inferiores al ECA suelos (5000 mg/Kg) para TPH fracción F2.
- La metodología aplicada permitió obtener la dosis óptima de compost en donde el maíz se pudo desarrollar obteniendo un porcentaje de remoción significativo. A pesar de las limitaciones en el número de análisis de laboratorio ligados a la metodología (Diseño Complemente al Azar) y a los recursos económicos, nos permitió evaluar el inicio y final del tratamiento; debido a la fortaleza metodológica de comparar datos con una cantidad mínima de repeticiones, manteniendo una confianza del 95%.
- La tasa de remoción y extensión de TPH en suelos contaminados depende de la textura y característica del suelo tratado, siendo la textura del suelo evaluado Franco Arcilloso, nos permitió tener resultados con tasas favorables.
- La altura de la planta tiene una relación directa con el porcentaje de remoción de TPH para los diferentes tratamientos propuestos; es decir, que para el caso del tratamiento M4 (Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost) se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción con 84% y 65% para F2 y F3 respectivamente con una altura de 18 cm.

- El rendimiento de la germinación de la planta es un indicador de los efectos de fitotoxicidad, el cual debe ser considerado teniendo en cuenta las tasas de respiración del suelo como un indicador de un posible efecto en la actividad microbiana del suelo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la aplicación in situ del Tratamiento en conjunto de compost y *Zea mays* para la eliminación de Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) de suelos contaminados con pasivos ambientales de pozos petroleros en la provincia de Talara, Piura.
- Se recomienda la investigación con la aplicación del tratamiento propuesto en suelos contaminados con diferentes texturas; como los suelos de los pasivos ambientales petroleros de la Selva Norte del Perú, cuya textura en su mayoría es arcillosa, y validar si este tratamiento es válido en una región con un clima diferente al de la costa Norte.
- Debido a la falta de análisis ecotoxicológicos al post tratamiento en la presente tesis, sugeridas por Jiang 2016; se recomienda su estudio debido a que una reducción de la concentración de TPH en el suelo no indica una reducción de la toxicidad del suelo; por lo tanto, el monitoreo de TPH por sí solo no es suficiente para evaluar el riesgo ambiental de un sitio contaminado después de la remediación.
- El petróleo crudo es una mezcla de distintos compuestos orgánicos e inorgánicos, además de tener presencia de metales; por lo tanto se recomienda un análisis de metales tóxicos en el suelo y en las plantas utilizadas; en concordancia con Adekunle (2011), la aplicación de materia orgánica compostada como enmienda al suelo como fuente de nutrientes, también podría facilitar la liberación o la absorción de metales tóxicos como Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en los tejidos de las plantas.

- Es importante investigar posibles cultivos que puedan realizar el doble propósito: remediación del suelo y producción comercial; debido a que el tratamiento del suelo tendrá mayor sostenibilidad en el tiempo si el cultivo a utilizar no solo se limita a eliminar contaminantes del suelo, sino que al mismo tiempo produzca una reserva de alimentos o biomasa energética comercialmente viable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adekunle, I. M. (2011). Bioremediation of soils contaminated with Nigerian petroleum products using composted municipal wastes. *Bioremediation Journal*, 15(4), 230–241.
- Agrobanco. (2010). *Guía Técnica, Curso – Taller, Manejo integrado de maíz amarillo duro*. La Libertad, Perú.
- Agrobanco. (2012). *Análisis de suelos y fertilización en avena forrajera*. Puno, Perú.
- Al-Kindi, S., & Abed, R. M. M. (2016). Effect of biostimulation using sewage sludge, soybean meal, and wheat straw on oil degradation and bacterial community composition in a contaminated desert soil. *Frontiers in Microbiology*, 7, 240.
- Alvarado, R., & Chávez, L. (2009). Manejo de Maíz Amarillo Duro (Híbridos). *INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA - INIA*.
- Álvarez de la Puente, J. (2003). Manual de compostaje para agricultura ecológica. *Junta de Andalucía*.
- Asadollahi, A., Zamani, J., Hajabbasi, M. A., & Schulin, R. (2016). Using maize (*Zea mays L.*) and sewage sludge to remediate a petroleum-contaminated calcareous soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 25(1), 26–37.
- Barone, R., de Biasi, M.-G., Piccialli, V., de Napoli, L., Oliviero, G., Borbone, N.,

- & Piccialli, G. (2016). Degradation of some representative polycyclic aromatic hydrocarbons by the water-soluble protein extracts from *Zea mays L.* cv PR32-B10. *Chemosphere*, 160, 258–265.
- Besalatpour, A. A., Hajabbasi, M. A., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2010). Reclamation of a petroleum-contaminated calcareous soil using phytostimulation. *Soil and Sediment Contamination*, 19(5), 547–559.
- Buendía, H. (2013). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 15(30), 123–130.
- Canihua Rojas, J., Florez Gonzales, N., & Goyzueta Hanco, W. (2015). *Elaboración de Compost* (No. 001). Puno, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA.
- Ccolque Choque, Y. M., & Vargas Molina, A. F. (2017). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) mediante el método de biopilas con dos tipos de sustrato (tierra y abonos orgánicos)*. Universidad Católica de Santa María.
- Chikere, C. B., Okpokwasili, G. C., & Chikere, B. O. (2011). Monitoring of microbial hydrocarbon remediation in the soil. *3 Biotech*, 1(3), 117–138.
- Covington, A. K., Bates, R. G., & Durst, R. A. (1983). Definition of pH scales, standard reference values, measurement of pH and related terminology (Provisional). *Pure and Applied Chemistry*, 55(9), 1467–1476.
- Das, N., & Chandran, P. (2011). Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, 2011.
- de Recursos Naturales, S. de C. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. *Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos, Décima*.
- Defensoría del Pueblo. (2015). Un llamado a la remediación. *Informe Defensorial*, (171).

- Geronimo Urrutia, A. S., & Vasquez Silva, C. E. (2017). *Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos*.
- Gkorezis, P., Daghighi, M., Franzetti, A., Van Hamme, J. D., Sillen, W., & Vangronsveld, J. (2016). The interaction between plants and bacteria in the remediation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1836.
- Gobierno Regional de Piura. (2010). *Servicio de consultoría para ejecutar el Estudio de capacidad de uso mayor de la tierra en el departamento de Piura*. Piura, Perú.
- Hakeem, K., Sabir, M., Ozturk, M., & Mermut, A. R. (2014). *Soil remediation and plants: prospects and challenges*. Academic Press.
- Han, T., Zhao, Z., Bartlam, M., & Wang, Y. (2016). Combination of biochar amendment and phytoremediation for hydrocarbon removal in petroleum-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 21219–21228.
- Hernández-Ramos, M. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., de los Ángeles Rosales-Esqiánca, M., Pinto-Ruiz, R., & Ortiz-Pérez, R. (2017). Caracterización molecular de maíces locales de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, México. *Agronomía Mesoamericana*, 69–83.
- Kaimi, E., Mukaidani, T., & Tamaki, M. (2007). Screening of twelve plant species for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. *Plant Production Science*, 10(2), 211–218.
- Liao, C., Xu, W., Lu, G., Deng, F., Liang, X., Guo, C., & Dang, Z. (2016). Biosurfactant-enhanced phytoremediation of soils contaminated by crude oil using maize (*Zea mays* L.). *Ecological Engineering*, 92, 10–17.
- Liao, C., Xu, W., Lu, G., Liang, X., Guo, C., Yang, C., & Dang, Z. (2015). Accumulation of hydrocarbons by maize (*Zea mays* L.) in remediation of soils contaminated with crude oil. *International Journal of*

- Phytoremediation*, 17(7), 693–700.
- Lim, M. W., Von Lau, E., & Poh, P. E. (2016). A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil—present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 14–45.
- Mendoza Davalos, K. (2016). *Preparación, uso y manejo de abonos orgánicos*.
- MINAM. D.S N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. , Diario Oficial El Peruano § (2017).
- Ministerio del Ambiente. *Guía para Muestreo de Suelos*. , (2014).
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Glosario de Términos - Sitios Contaminados*. Perú.
- Ministerio del Ambiente. *D.S. N° 012-2017-MINAM: Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados*. , (2017).
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2016). *La identificación de Pasivos Ambientales del subsector Hidrocarburos*. Lima, Perú.
- Pablo Bazán, E. C. (2007). *Aplicación de bioremediación ante derrames de petróleo en la selva*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Perú, M. de A. del. (2011). *MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS*.
- Ren, X., Zeng, G., Tang, L., Wang, J., Wan, J., Wang, J., ... Peng, B. (2018). The potential impact on the biodegradation of organic pollutants from composting technology for soil remediation. *Waste Management*, 72, 138–149.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO.
- Ruíz, F. C., Cotrina, J. O., & Neef, J. (2006). Manual, Manejo tecnificado del cultivo del maíz en la sierra. *GTZ, Programa Desarrollo Rural Sostenible-Cajamarca-Perú*. Cajamarca, Perú.
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía - SNMPE. (2015). *Informe*

*Quincenal de la SNMPE: Los Hidrocarburos*. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía.

Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & De la Cruz, R. (2015). La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país. *Osinergmin. Lima-Perú*.

Tamayo Rodríguez, L. N. (2016). *Efecto del compost de cáscara de Citrus limon sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara*. Universidad César Vallejo.

Varjani, S. J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223, 277–286.

Velasquez Camacho, T. A. (2001). *Use compost y mejorara sus suelos*. Lima, Perú.

Willard, M., Cowan, W. M., & Vagelos, P. R. (1974). The polypeptide composition of intra-axonally transported proteins: evidence for four transport velocities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71(6), 2183–2187.

Zabed, H., Boyce, A. N., Faruq, G., & Sahu, J. N. (2016). A comparative evaluation of agronomic performance and kernel composition of normal and high sugary corn genotypes (*Zea mays L.*) grown for dry-grind ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 94, 9–19.

# **ANEXOS**

## **ANEXO N° 1 – MATRIZ DE CONSISTENCIA**

"EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO FRACCIÓN F2 Y F3 EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPOST Y <i>Zea mays</i> (MAÍZ)"						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	Und.
¿En qué medida los hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 presentes en suelos contaminados serán removidos mediante la aplicación de compost y <i>Zea mays</i> (maíz)?	Evaluar la influencia de un humedal artificial como postratamiento en la remoción de metales pesados de un sistema sinérgico de aguas residuales.	Los hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 presentes en suelos contaminados son removidos mediante la aplicación de compost y <i>Zea mays</i> (maíz).	<b>V1: (Independiente)</b> Aplicación de compost y <i>Zea mays</i> (maíz)	M1: Atenuación Natural M2: Aplicación de maíz + compost (40% w/w) M3: Aplicación de maíz + compost (50% w/w) M4: Aplicación de maíz + compost (60% w/w)	Concentración de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo Número de Semillas Germinadas Altura de Planta de Maíz ( <i>zea Mays</i> )	m / Kg  und cm
<b>PROBLEMA ESPECÍFICO</b>  P.1. ¿En qué medida la concentración inicial de Hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 y la caracterización del suelo contaminado afectara en el diseño del tratamiento?  P.2. ¿En qué medida los nutrientes y materia orgánica presentes en el Compost cumplirá con valores establecidos para su aplicación en suelos?  P.3. ¿En qué medida la mayor dosis de compost aumentará la remoción de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados en la aplicación del tratamiento de compost y <i>Zea mays</i> (Maíz)?  P.4. ¿En qué medida la menor concentración final de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado aumentará la remoción en la aplicación del tratamiento de compost y <i>Zea mays</i> (maíz)?	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>  O.1. Determinar la concentración inicial de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3, y caracterización del suelos contaminado para el diseño del tratamiento.  O.2. Realizar una caracterización nutrientes y de materia orgánica del compost para su aplicación en suelos.  O.3. Determinar la dosis óptima de compost a utilizar como enmienda orgánica en la aplicación del tratamiento combinado de compost y <i>Zea mays</i> (Maíz).  O.4. Determinar la concentración final de Hidrocarburos totales de petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado para la remoción en la aplicación del tratamiento.	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICO</b>  H.1. La concentración inicial de hidrocarburos de petróleo fracción F2 y F3, y la caracterización del suelo contaminado afecta en el diseño del tratamiento..  H.2. Los nutrientes y la materia orgánica presentes en el compost cumple con los valores establecidos para su aplicación en suelos..  H.3. La mayor dosis de compost aumenta la remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en suelos contaminados en la aplicación del tratamiento de compost y <i>Zea mays</i> (maíz).  H.4. La menor concentración final de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo contaminado aumenta la remoción en la aplicación del tratamiento de compost y <i>Zea mays</i> (maíz).	<b>V2: (Dependiente)</b> Remoción de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y	Concentración de Hidrocarburos de Petróleo Fracción F2 y F3 en el suelo	Porcentaje de remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción F2 y F3 en el suelo	%
<b>METODOLOGÍA</b>						
<p><b>Tipo de Investigación</b> Investigación Experimental</p> <p><b>Diseño de Investigación</b> Diseño completamente al azar (DCA)</p> <p><b>Métodos de Investigación</b> Hipótesis Deductivo</p> <p><b>Población</b> Suelos costeros contaminados por hidrocarburos de petróleo de la provincia de Talara, departamento de Piura</p> <p><b>Muestra</b> Suelos costeros contaminados por hidrocarburos de petróleo pro actividades de pozos petroleros del distrito de Pariñas, provincia Talara</p> <p><b>Técnicas e Instrumentos de Investigación</b> Técnicas nacionales e internacionales para el muestreo de parámetros</p> <p><b>Plan de Análisis de datos</b> Análisis de Varianza (ANOVA, H de Kruskal-Wallis)</p>						

Fuente: Elaboración Propia

**ANEXO N° 2 – INFORMES DE ENSAYO DE  
LABORATORIO**

# CARACTERIZACIÓN INICIAL DE SUELOS



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

## INFORME DE ENSAYO N° 133528-2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : LILIAN ARMAS TARAZONA  
**DOMICILIO LEGAL** : AV. BRASIL 3630 DTO. 401 BLOCK B- MAGDALENA DEL MAR- LIMA- LIMA  
**SOLICITADO POR** : LILIAN ARMAS TARAZONA  
**REFERENCIA** : TESIS  
**PROCEDENCIA** : TALARA- PIURA  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2018-04-24  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 2018-04-24  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
*Nitrógeno total Kjeldahl	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.3.17 Método AS-25 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.05	N %
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	mEq/100g muestra
*Carbonatos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-20 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.50	CaCO <sub>3</sub> %
*Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Método AS-09 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	%
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996 . Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.24	%
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unid pH
Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cejio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2018-04-23	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	T-01	
Código del Laboratorio	18041914	
Ensayo	unidades	Resultados
*Nitrógeno total Kjeldahl	N %	6.88
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	mEq/100g muestra	2.125
*Carbonatos	CaCO <sub>3</sub> %	<0.50
Conductividad	mS/m	433
Materia orgánica	%	10.46
pH	unid pH	7.26

\* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Resultados de Suelo en base seca.

Quim. Balbeth Y. Fajardo León  
C.Q.P. N° 648  
Asesor Técnico Químico

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Cod.: F 02/Versión: 08/F.E:03/2018

\* El Método Indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

### SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 1 de 3

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

**INFORME DE ENSAYO N° 133528-2019  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado		Suelo	
Matriz analizada		Suelo	
Fecha de muestreo		2018-04-23	
Hora de inicio de muestreo (h)		15:00	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del Cliente		T-01	
Código del Laboratorio		18041914	
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
<b>Metales</b>			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	0.08
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	6272.6
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	3.3
Boro (B)	0.2	mg/kg	8.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	91.9
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.24
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	5123.1
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	0.29
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	13.4
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	7.00
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	11.21
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	37.1
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	16063.9
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	1212.2
Litio (Li)	0.3	mg/kg	11.1
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	3106.7
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	147.97
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.6
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	5679.6
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	14.97
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	435.4
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	13.78
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	0.4
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	0.8
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	58.0
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	37.48
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	21.23
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	70.5

L.D.M.: Límite de detección del método  
Resultados de Suelo en base seca.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León  
C.Q.P. N° 648  
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU**

Cod.: FI 02/versión: 08/FE:03/2018

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com). • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 2 de 3  
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) • Contacto Electrónico [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com)

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

## INFORME DE ENSAYO N° 133528-2019 CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Código de cliente	Código de laboratorio	Producto declarado	Matriz analizada	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Condición de la muestra
T-01	18041914	Suelo	Suelo	2018-04-23	15:00	Conservada

*ANÁLISIS DE TEXTURA						
IDENTIFICACIÓN		COMPOSICIÓN			Clase Textural	Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	% Arena	% Limo	% Arcilla		
T-01	18041914	68	8	24	Fr.Ar.A	Franco arcillo arenoso

A = Arena; A.Fr. = Arena franca; Fr.A = Franco arenoso; Fr = Fránco; L = Limoso; Fr.L. = Franco limoso; Fr.Ar.A = Franco arcillo arenoso; Fr.Ar. = Franco arcilloso; Fr.Ar.L. = Franco arcillo limoso; Ar.A. = Arcillo arenoso; Ar. = Arcilloso; Ar.L. = Arcillo limoso

\* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL -DA.

Modificadores de Clase Textural	
Contenido de fragmentos %V	Término
< 15	Sin adjetivo
15 a < 35	gravoso, lejoso, pedregoso
35 a < 60	muy gravoso, muy lejoso
60 a < 90	extremadamente gravoso
> 90	(no suelo) grava, laja

**Observación:** Los modificadores de clase textural se utilizan cuando la muestra analizada por granulometría contiene material gravoso determinado en una porción diferente a la de granulometría. Según su porcentaje se utiliza los adjetivos para dar denominación adicional a la clase textural.

**INFORME ADICIONAL:** El presente informe N° 133528-2019 es emitido a solicitud del usuario (cliente). Los resultados de análisis emitidos en este documento fueron extraídos del informe original N° 122104-2018 emitido con fecha 2018-05-11. Para evaluar la trazabilidad de los resultados emitidos remitirse al informe original.

17025  
Quim. Belbeth Y. Pajardo León  
C.Q.P. N° 648  
Asesor Técnico Químico

Lima, 11 de Junio del 2019

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Cod.: FI.02/Versión: 08/FE/03/2018

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 3 de 3

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

# ANÁLISIS INICIAL DE TPH F2 Y F3 EN EL SUELO



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



## INFORME DE ENSAYO N° 130435 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : LUIS JAVIER ALEXANDER AMARO BARRETO  
**DOMICILIO LEGAL** : PASAJE LEÓN VELARDE 113 URB. 28 DE JULIO - SAN MARTÍN DE PORRES - LIMA - LIMA  
**SOLICITADO POR** : LUIS JAVIER ALEXANDER AMARO BARRETO  
**REFERENCIA** : TESIS  
**PROCEDENCIA** : PIURA  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2019-01-22  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-01-24 AL 2019-01-25  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-01-19  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> )	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH (C <sub>28</sub> -C <sub>40</sub> )	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2019-01-22	
Hora de inicio de muestreo (h)	07:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	SUELO-01	
Código del Laboratorio	19013660	
Ensayo	Unidad	Resultados
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> ) <sup>1</sup>	mg/kg	34131
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH (C <sub>28</sub> -C <sub>40</sub> ) <sup>2</sup>	mg/kg	52050

Resultados de Suelo reportado en base seca.

- (1) Fracción de hidrocarburos F2 (C<sub>10</sub>-C<sub>28</sub>).
- (2) Fracción de hidrocarburos F3 (C<sub>28</sub>-C<sub>40</sub>).

Lima, 04 de Febrero del 2019.

*[Firma]*  
 Quim. Belbeth Y. Fajardo León  
 C.Q.P. N° 648  
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Cod.: F 02/ Versión: 08/FE/03/2018

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima **Página 1 de 1**  
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



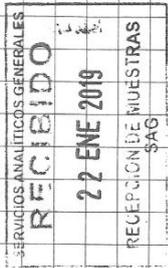
# CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

O.S. 175008

FR - 005  
Versión: 05  
F.E: 10/2016  
Página: ..... de .....

Cliente: LUISJAVIER AHARO BARRETO    Contacto: Luisjavier.Ahara.Barreto@gmail.com    Telef(s) 970521354  
 Lugar: PIURA    Empresa: \_\_\_\_\_    Planta: TBS Is    Proyecto: TBS Is  
 Carta/Cotización: 2019-01VA-88-1-1    MUESTREO POR SAG    MUESTREO POR CLIENTE    N° Informe: 120436-2019

PUNTO DE MUESTREO ó CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO										CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES							
	FECHA	HORA																						
SUELO-01	22/01/19	7:00m	SUELO																			19013660		



Observaciones de Muestreo: \_\_\_\_\_  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: LUISJAVIER AHARO BARRETO    Firmas: [Signature]    Recibido en laboratorio: 0:01  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: LUISJAVIER AHARO BARRETO    Firmas: [Signature]    Día/Hora: 12:55



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: ias-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 014834**

**MATERIA ORGÁNICA**

SOLICITANTE : LUIS JAVIER AMARO BARRETO  
 PROYECTO : TESIS  
 PROCEDENCIA : La Molina . Lima  
 RESP. ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores  
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 23 de enero de 2019

Número de muestra		C.E dS/m	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	Ca O %	MgO %	N %
Lab.	Campo							
14834	Compost	8.80	6.79	2.12	1.05	3.49	1.34	0.60



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO  
 Ing. Miguel A. Sanchez Delgado  
 JEFE DE LABORATORIO

# ANALISIS FINAL DE TPH F2 Y F3 EN EL SUELO



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



## INFORME DE ENSAYO N° 132441 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : AMARO BARRETO LUIS JAVIER ALEXANDER  
**DOMICILIO LEGAL** : PASAJE LEÓN VELARDE 113 URB. 28 DE JULIO- SAN MARTÍN DE PORRES- LIMA- LIMA  
**SOLICITADO POR** : RICHARD TAIBE  
**REFERENCIA** : TESIS  
**PROCEDENCIA** : UNAC- CALLAO  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2019-04-23  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-04-26 AL 2019-05-15  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-04-23  
**MUESTREO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 / Método AS-13 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	mEq/100g muestra
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F2 (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> )	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F3 (C <sub>28</sub> -C <sub>40</sub> )	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

*Quim. Belbeth Y. Fajardo León*  
 C.Q.P. N° 648  
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Cod.: FI 027/versión: 08/F.E.03/2018

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com). • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

### SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1555 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 1 de 2  
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) • Contacto Electrónico [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com)

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

**INFORME DE ENSAYO N° 132441 - 2019  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23
Hora de inicio de muestreo (h)	14:15	14:30	14:35	14:40
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	M11	M12	M13	M21
Código del Laboratorio	19041746	19041747	19041748	19041749
Ensayo	Unidad	Resultados		
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	mEq/100g muestra	15.62	12.06	11.35
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F2 (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> )	mg/kg	27772.00	27229.00	28793.00
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F3 (C <sub>28</sub> -C <sub>42</sub> )	mg/kg	50456.00	47811.00	56242.00
26292.00				
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23
Hora de inicio de muestreo (h)	14:50	15:10	15:15	15:30
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	M22	M23	M31	M32
Código del Laboratorio	19041750	19041751	19041752	19041753
Ensayo	Unidad	Resultados		
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	mEq/100g muestra	16.76	14.52	16.12
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F2 (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> )	mg/kg	7587.00	10073.00	7052.00
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F3 (C <sub>28</sub> -C <sub>42</sub> )	mg/kg	20560.00	25623.00	21262.00
17467.00				
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23	2019-04-23
Hora de inicio de muestreo (h)	15:45	16:00	16:15	16:40
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	M33	M41	M42	M43
Código del Laboratorio	19041754	19041755	19041756	19041757
Ensayo	Unidad	Resultados		
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	mEq/100g muestra	13.37	12.84	15.07
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F2 (C <sub>10</sub> -C <sub>28</sub> )	mg/kg	6867.00	4762.00	7237.00
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F3 (C <sub>28</sub> -C <sub>42</sub> )	mg/kg	21116.00	15819.00	23586.00
14973.00				

Resultados de Suelo reportados en base seca.

\* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA

Lima, 15 de Mayo del 2019.

*Quim. Belbeth Y. Fajardo León*  
C.Q.P. N° 648  
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU**

Cod.: FI 02/Versión: 06/FE/03/2018

\* El Método Indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency, ASTM: American Society for Testing and Materials, NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com). • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 2 de 2  
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) • Contacto Electrónico [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com)

U.S. 170173



**CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE CUAS Y SUELOS**

Cliente: **LUISJAVIER AMARO BARRETO** Contacto: **RICHARD TAIBE** E-mail: **lamarobarreto@gmail.com** Telef(s) **970521339**  
 Lugar: **UNAC - CALLAO** Empresa: **---** Planta: **---** Proyecto: **TESIS**

Carta/Contratación: **2019-04VL-25-01** MUESTREO POR SAG  MUESTREO POR CLIENTE  N° Informe: **13241-2C**

PUNTO DE MUESTREO O CODIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO	MUESTREO POR SAG	MUESTREO POR CLIENTE	DATOS ADICIONAL
	FECHA	HORA		PH	TEMPERATURA				
M01	23/04/19	3:30 pm	SUELO	7.5	18.5	PH			19041750
M02	23/04/19	3:45 pm	SUELO	7.5	18.5	TEMPERATURA			19041750
M03	23/04/19	3:55 pm	SUELO	7.5	18.5	TEMPERATURA			19041750
M11	23/04/19	2:15 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M12	23/04/19	2:30 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M13	23/04/19	2:35 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M21	23/04/19	2:40 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M22	23/04/19	2:50 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M23	23/04/19	3:10 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M31	23/04/19	3:15 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M32	23/04/19	3:30 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M33	23/04/19	3:45 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M34	23/04/19	3:55 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M41	23/04/19	4:00 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M42	23/04/19	4:15 pm	SUELO	---	---	---			19041750
M43	23/04/19	4:40 pm	SUELO	---	---	---			19041750

RECIBIDO  
23 ABR 2019  
RECEPCION DE MUESTRAS SAG

Observaciones de Muestreo:   
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: **LUISJAVIER AMARO BARRETO** Firma(s):   
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: **RICHARD TAIBE PEREZ** Firma(s):   
 Recibido en laboratorio: **19:45 hs** Día/Hora: **23/04/19**

## **ANEXO N° 3 – REGISTROS DE CAMPO**

Tratamiento	Dia 1 - 23/01/2019		Dia 6 - 28/01/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	10:00	74	10:44	67
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.79	2120.00	7.42	6870.00
M0.2	7.67	2040.00	7.50	5630.00
M0.3	7.73	2460.00	7.55	5440.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	7.21	3510.00	7.20	5900.00
M1.2	7.10	4090.00	7.41	6700.00
M1.3	7.10	4000.00	7.38	5820.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	7.16	5380.00	7.20	5360.00
M2.2	7.16	6000.00	7.27	3040.00
M2.3	7.21	5200.00	7.28	8100.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	7.20	5460.00	7.22	5450.00
M3.2	7.15	5420.00	7.22	6280.00
M3.3	7.13	5810.00	7.27	5280.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	7.10	4580.00	6.82	9290.00
M4.2	7.11	5200.00	7.21	6880.00
M4.3	7.01	5550.00	7.34	7150.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 13 - 04/02/2019		Dia 20 - 11/02/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	16:11	82	16:13	79
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.73	2240.00	7.99	1776.00
M0.2	7.79	3010.00	8.06	1851.00
M0.3	7.76	2660.00	7.94	2310.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	7.38	6700.00	7.76	5170.00
M1.2	7.54	6970.00	7.77	5250.00
M1.3	7.55	7740.00	7.57	5270.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	7.38	5390.00	7.93	5670.00
M2.2	7.40	5650.00	7.92	4810.00
M2.3	7.36	5000.00	7.94	5770.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	7.51	4790.00	7.72	4800.00
M3.2	7.47	5920.00	7.94	4030.00
M3.3	7.45	5800.00	7.56	4160.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	7.54	5200.00	7.86	4360.00
M4.2	7.68	4800.00	7.74	4330.00
M4.3	7.69	5960.00	7.82	4060.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 27 - 18/02/2019		Dia 34 - 25/02/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	15:47	66	15:26	66
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.86	1501.00	7.84	2020.00
M0.2	7.91	2510.00	8.00	2560.00
M0.3	7.80	2970.00	8.09	2000.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	7.51	6640.00	7.83	7080.00
M1.2	7.65	9150.00	7.83	7150.00
M1.3	7.53	7820.00	7.88	7490.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	7.92	4360.00	8.24	4440.00
M2.2	7.86	4750.00	7.92	3490.00
M2.3	8.01	7750.00	8.30	5420.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	7.75	6700.00	8.12	4720.00
M3.2	7.74	5900.00	8.00	5560.00
M3.3	7.72	5260.00	7.86	5620.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	7.84	3150.00	7.65	4260.00
M4.2	7.80	5720.00	7.74	3680.00
M4.3	7.75	3880.00	7.79	3080.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 41 - 04/03/2019		Dia 48 - 11/03/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	15:51	69	15:23	63
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.84	3080.00	7.52	4350.00
M0.2	8.16	1483.00	7.80	2380.00
M0.3	8.20	1493.00	7.75	3090.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	7.82	6470.00	7.47	6490.00
M1.2	7.82	7260.00	7.78	6100.00
M1.3	7.89	5780.00	7.94	5400.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	8.26	3880.00	8.25	5840.00
M2.2	7.94	3910.00	7.86	4140.00
M2.3	8.34	4910.00	8.15	5180.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	8.39	4650.00	8.37	8410.00
M3.2	8.25	5750.00	8.17	5490.00
M3.3	8.06	6950.00	8.15	8370.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	7.68	4200.00	7.57	4950.00
M4.2	7.85	5100.00	7.74	5480.00
M4.3	7.75	4250.00	7.68	4460.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 55 - 18/03/2019		Dia 62 - 25/03/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	15:30	70	15:47	73
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.45	2600.00	7.55	0.00
M0.2	7.75	2660.00	0.00	0.00
M0.3	7.79	2890.00	0.00	0.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	8.10	6220.00	0.00	0.00
M1.2	7.91	5110.00	0.00	0.00
M1.3	7.53	5350.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	8.09	5380.00	0.00	0.00
M2.2	7.90	4110.00	0.00	0.00
M2.3	8.19	5550.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	8.24	5880.00	0.00	0.00
M3.2	8.04	6900.00	0.00	0.00
M3.3	7.88	8620.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	7.58	5180.00	0.00	0.00
M4.2	7.60	5330.00	0.00	0.00
M4.3	7.55	5390.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 69 - 01/04/2019		Dia 76 - 08/04/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	14:37	74	13:45	70
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	7.84	0.00	8.40	0.00
M0.2	0.00	0.00	0.00	0.00
M0.3	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	0.00	0.00	0.00	0.00
M1.2	0.00	0.00	0.00	0.00
M1.3	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	0.00	0.00	0.00	0.00
M2.2	0.00	0.00	0.00	0.00
M2.3	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	0.00	0.00	0.00	0.00
M3.2	0.00	0.00	0.00	0.00
M3.3	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	0.00	0.00	0.00	0.00
M4.2	0.00	0.00	0.00	0.00
M4.3	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Dia 83 - 15/04/2019		Dia 90 - 22/04/2019	
	Hora	% Humedad	Hora	% Humedad
	13:28	67	14:50	64
	pH	CE (µS)	pH	CE (µS)
<i>Control</i>				
M0.1	8.50	0.00	8.48	1820.00
M0.2	0.00	0.00	7.98	1370.00
M0.3	0.00	0.00	7.89	1520.00
<i>Atenuación Natural</i>				
M1.1	0.00	0.00	8.31	5810.00
M1.2	0.00	0.00	8.16	3880.00
M1.3	0.00	0.00	7.89	5490.00
<i>Tratamiento 40% Compost</i>				
M2.1	0.00	0.00	8.16	6530.00
M2.2	0.00	0.00	8.02	4330.00
M2.3	0.00	0.00	8.30	6490.00
<i>Tratamiento 50% Compost</i>				
M3.1	0.00	0.00	8.11	8390.00
M3.2	0.00	0.00	8.10	7370.00
M3.3	0.00	0.00	7.91	8300.00
<i>Tratamiento 60% Compost</i>				
M4.1	0.00	0.00	7.52	8670.00
M4.2	0.00	0.00	7.73	7380.00
M4.3	0.00	0.00	7.57	6570.00

Fuente: Elaboración Propia

TESIS - TRATAMIENTOS RESULTADOS FINALES - Dia 90 - 22/04/2019				
Tratamiento	Semillas Germinadas	N° de Planta	Altura (cm)	Fotografia
<b>Suelo Agrícola 4 Kg - Control</b>				
M0.1	5/5	1	16.50	
		2	19.00	
		3	16.50	
		4	13.50	
		5	16.00	
M0.2	5/5	1	15.00	
		2	21.00	
		3	13.50	
		4	17.40	
		5	18.30	
M0.3	5/5	1	14.40	
		2	17.30	
		3	17.30	
		4	17.00	
		5	15.60	
<b>Suelo Contaminado 4 Kg - Atenuación Natural</b>				
M1.1	5/0	S/P	-	
		S/P	-	
M1.2	5/0	S/P	-	
		S/P	-	
M1.3	5/0	S/P	-	
		S/P	-	

Fuente: Elaboración Propia

TESIS - TRATAMIENTOS RESULTADOS FINALES - Dia 90 - 22/04/2019				
Tratamiento	Semillas Germinadas	N° de Planta	Altura (cm)	Fotografia
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 40% (w/w) Compost</b>				
M2.1	5/0	S/P	-	
		S/P	-	
M2.2	5/3	1	18.30	
		2	16.00	
		3	12.00	
		S/P	-	
		S/P	-	
M2.3	5/5	1	6.30	
		2	5.50	
		3	8.00	
		4	3.50	
		5	5.00	
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 50% (w/w) Compost</b>				
M3.1	5/3	1	5.50	
		2	7.20	
		3	2.80	
		S/P	-	
		S/P	-	
M3.2	5/4	1	14.80	
		2	11.40	
		3	7.80	
		4	6.20	
		S/P	-	
M3.3	5/5	1	21.80	
		2	16.50	
		3	8.50	
		4	2.40	
		5	5.60	

Fuente: Elaboración Propia

TESIS - TRATAMIENTOS RESULTADOS FINALES - Dia 90 - 22/04/2019				
Tratamiento	Semillas Germinadas	N° de Planta	Altura (cm)	Fotografia
<b>Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost</b>				
M4.1	5/4	1	16.50	
		2	17.70	
		3	19.00	
		4	20.00	
		S/P	-	
M4.2	5/3	1	22.40	
		2	23.80	
		3	14.50	
		S/P	-	
		S/P	-	
M4.3	5/4	1	11.60	
		2	17.50	
		3	18.40	
		4	18.20	
		S/P	-	

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F2									
Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remoción (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remoción (%)	Fotografía
Suelo Agrícola 4 Kg - Control	M0.1	-	-	-	-	-	-	-	
	M0.2	-	-	-					
	M0.3	-	-	-					
Suelo Contaminado 4 Kg - Atenuación Natural	M1.1	34131	27772	18.63%	34131.00	27931.33	27931.33 ± 794	18.10%	
	M1.2	34131	27229	20.22%					
	M1.3	34131	28793	15.64%					

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F2									
Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remoción (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remoción (%)	Fotografía
Suelo Contaminado 4 Kg + 40% (w/w) Compost	M2.1	34131	11603	66.00%	34131.00	9754.33	9754.33 ± 2027	71.42%	
	M2.2	34131	7587	77.77%					
	M2.3	34131	10073	70.49%					
Suelo Contaminado 4 Kg + 50% (w/w) Compost	M3.1	34131	7052	79.34%	34131.00	6635.00	6635.00 ± 570	80.50%	
	M3.2	34131	5986	82.46%					
	M3.3	34131	6867	79.88%					

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F2									
Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remoción (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remoción (%)	Fotografía
Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost	M4.1	34131	4762	86.05%	34131.00	5580.33	5580.33 ± 1435	83.65%	
	M4.2	34131	7237	78.80%					
	M4.3	34131	4742	86.11%					

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F3									
Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remediación (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remediación (%)	Fotografía
Suelo Agrícola 4 Kg - Control	M0.1	-	-	-	-	-	-	-	
	M0.2	-	-	-					
	M0.3	-	-	-					
Suelo Contaminado 4 Kg - Atenuación Natural	M1.1	52050.00	50456.00	3.06%	52050.00	51503.00	51,503.00 ± 4,311.91	1.05%	
	M1.2	52050.00	47811.00	8.14%					
	M1.3	52050.00	56242.00	-8.05%					

Fuente: Elaboración Propia

**RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F3**

Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remediación (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remediación (%)	Fotografía
Suelo Contaminado 4 Kg + 40% (w/w) Compost	M2.1	52050.00	26292.00	49.49%	52050.00	24158.33	24,158.33 ± 3,134.15	53.99%	
	M2.2	52050.00	20560.00	60.50%					
	M2.3	52050.00	25623.00	50.77%					
Suelo Contaminado 4 Kg + 50% (w/w) Compost	M3.1	52050.00	21262.00	59.15%	52050.00	19948.33	19,948.33 ± 2,150.14	61.67%	
	M3.2	52050.00	17467.00	66.44%					
	M3.3	52050.00	21116.00	59.43%					

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PARA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) FRACCIÓN F3									
Tratamiento	Código de Tratamiento	Concentración Inicial (Co)	Concentración Final (Cf)	Eficiencia de Remediación (%)	Media de Concentración Inicial (Co)	Media de Concentración Final (Cf)	Concentración Final (Cf)	Media de Eficiencia de Remediación (%)	Fotografía
Suelo Contaminado 4 Kg + 60% (w/w) Compost	M4.1	52050.00	15819.00	69.61%	52050.00	18126.00	18,126.00 ± 4,747.38	65.18%	
	M4.2	52050.00	23586.00	54.69%					
	M4.3	52050.00	14973.00	71.23%					

Fuente: Elaboración Propia

## **ANEXO N° 4 – PANEL FOTOGRÁFICO**

### Toma de Muestra en Talara



### Acondicionamiento del lugar de Trabajo y de Unidades Experimentales







Día 1



**Día 6 - Germinación M0.1: Blanco**



**Día 8 Germinación M4.3: Con Compost al 60% w/w**



M4.3

**Día 15**



M0



M1



M2



M3



M4



Día 30



M0



M1



M2



M3



M4



Día 45



M0



M1



M2



M3



M4



Día 60



M0



M1



M2



M3



M4



Día 90



M0.1



M0.2



M0.3



M1.1



M1.2



M1.3



M2.1



M2.2



M2.3



M3.1



M3.2



M3.3



M4.1



M4.2



M4.3

**ANEXO N° 5 – INFORMACIÓN DEL MAÍZ UTILIZADO:  
INIA 619 - MEGAHÍBRIDO**



PERÚ

Ministerio  
de AgriculturaInstituto Nacional  
de Innovación Agraria

HÍBRIDO SIMPLE DE MAÍZ AMARILLO DURO

# INIA 619 MEGAHÍBRIDO

Maíz de alta productividad para verano e invierno

ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA VISTA FLORIDA - CHICLAYO

## HÍBRIDO SIMPLE DE MAÍZ AMARILLO DURO INIA 619 - MEGAHÍBRIDO

### INTRODUCCIÓN

En el Perú, el maíz amarillo duro es el principal insumo en la industria avícola para elaborar alimentos balanceados. La producción de maíz amarillo duro el año 2010 fue de 1 279 154 toneladas y las importaciones de 1 896 428 toneladas. En total la demanda nacional fue de 3 175 582 toneladas (OIA, 2010), de las cuales se produce el 40,3% y el 59,7% se importa principalmente de los Estados Unidos, Argentina y Brasil, demanda que cada año se incrementa debido al mayor consumo de carne de aves, de ganado vacuno y porcino.

Con la finalidad de contribuir al incremento de la producción nacional de maíz, el Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA a través del Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz, pone a disposición de los productores y la industria de alimentos balanceados el híbrido simple de maíz amarillo duro denominado **INIA 619 - MEGAHÍBRIDO**, que presenta alto potencial de rendimiento, hasta 14 t/ha, tolerancia a plagas y enfermedades, y amplia adaptación en los valles maiceros de la costa y selva peruana.

### ORIGEN

**INIA 619 - Megahíbrido**, está formado por dos líneas tropicales con alto nivel de endogamia provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) - México. Se desarrolló en la Estación Experimental Agraria Vista Florida - Chiclayo del INIA a partir del año 2006 hasta el 2009. El mantenimiento de las líneas se realiza en un núcleo de semilla genética formado por 50 mazorcas representativas.

### ADAPTACIÓN AGROECOLÓGICA

**INIA 619 - Megahíbrido** tiene buena adaptación en la costa, también, se adapta en la selva peruana.

### DESCRIPCIÓN DEL HÍBRIDO

#### Características morfológicas

Altura de planta	: 230 cm ± 10 cm
Altura de mazorca	: 102 cm ± 5 cm
Forma de mazorca	: Cilindro cónica
Número de hileras	: 16 (promedio)
Disposición de las hileras	: Rectas
Longitud de mazorca	: 22 cm ± 2 cm
Diámetro de mazorca	: 7 cm
Peso de mazorca	: 310 g ± 2 g
Número de mazorca/planta	: 1,2
Color del raquis (tuza)	: Blanco
Número de granos/hilera	: 40
Peso del grano/mazorca	: 230 g
Peso de 1000 granos	: 404 g
Color del grano	: Amarillo oscuro
Textura del grano	: Cristalino
Longitud del grano	: 15 mm
Ancho del grano	: 8 mm
Espesor del grano	: 5 mm

#### Características agronómicas

Días a la floración	: 60 a 70 días en verano; 75 a 90 días en invierno
Período vegetativo	: 140 a 150 días en verano 160 a 170 días en invierno
Cantidad de semilla	: 22 a 25 kg/hectárea

Rendimiento de grano obtenido con tecnología del agricultor:

Tipos de Investigación	Rendimiento (t/ha)	
	Máximo	Mínimo
Ensayos de adaptación	14,0	10
Parcelas de comprobación de verano	13,0	9,5
Parcelas de comprobación de invierno	12,0	10,6

### Reacción a factores bióticos y abióticos

**INIA 619 - Megahíbrido**, no registra presencia significativa de ataque de enfermedades foliares causadas por hongos y virus, muestra alta tolerancia a mancha de asfalto. No presenta problemas de tumbado de plantas.



### MANEJO DEL CULTIVO

#### Época de siembra

Todo el año, preferentemente en verano.

#### Siembra

La semilla de los híbridos simples, como **INIA 619 - Megahíbrido**, es de menor tamaño que de los híbridos triples o dobles, razón por la cual se siembra a menor profundidad y en suelos bien mullidos.

Se recomienda tratar la semilla con un insecticida polvo soluble para evitar ataque de insectos al momento de la emergencia y con un bioestimulante para obtener plantas con buen vigor y una densidad adecuada.

#### Densidad de siembra

Se utiliza 22 a 25 kg/ha de semilla de buena calidad.

Utilizar los siguientes distanciamientos :

- Entre surcos : 75 cm a 80 cm
- Entre golpes : 30 cm a 35 cm
- Semillas/golpe : 2

La densidad óptima para siembra de verano en la costa norte es de 75 880 plantas/ha (0,75 m entre surcos x 0,35 m entre golpes con 2 semillas/golpe) ó 6 plantas por metro lineal en siembras realizadas con máquina, y en siembras de invierno 71 250 plantas/ha (0,80 m entre surcos x 0,35 m entre golpes con 2 semillas/golpe).

#### Control de malezas

El cultivo debe estar libre de malezas, principalmente durante las etapas iniciales de crecimiento. Las malezas de hoja ancha y angosta (gramíneas) se deben controlar aplicando herbicidas adecuados, cuya aplicación se realiza en suelo húmedo en pre-emergencia o post-emergencia temprana de malezas pequeñas empleando las dosis comerciales.

#### Fertilización

Para una correcta fertilización utilice las recomendaciones del análisis de suelo. Para suelos con características similares a los de Vista Florida - Chiclayo, generalmente se recomienda aplicar el nivel de fertilización 240-120-140 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O. En la primera aplicación de fertilizantes que se realiza aproximadamente a los 10 días después de la siembra, cuando las plantas tienen 4 hojas extendidas (etapa fenológica V4) se recomienda fraccionar el nitrógeno. Las cantidades empleadas de fertilizante comercial para cubrir el nivel recomendado son: 3 bolsas de urea, 4 de fosfato diamónico, 2 sulpomag y 2 de sulfato de potasio.

La segunda aplicación nitrogenada se debe efectuar a los 30 ó 35 días después de la siembra (etapa V6 ó con 6 hojas extendidas), aplicando 4 bolsas de urea y 5 de sulfato de amonio. Complementar con abonos foliares a base de sulfato de zinc y boro cuando la planta se encuentre entre las etapas V4 y V6.

#### Riegos

En suelos francos y franco arenosos, aplicar riegos frecuentes pero ligeros hasta antes del despliegue de hoja bandera, posteriormente aplicar riegos pesados para tener un buen llenado y peso del grano.

#### Control de plagas

Controlar los gusanos de tierra y el gusano cogollero con insecticidas cuyo ingrediente activo sea a base de Thiodicarp o Imidacloprid para asegurar el número de plantas recomendado.



### RECONOCIMIENTO

El híbrido simple **INIA 619 - MEGAHÍBRIDO** es el resultado de los trabajos de investigación realizados por el equipo de científicos del Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz de la Estación Experimental Agraria Vista Florida - Chiclayo del Instituto Nacional de Innovación Agraria y la colaboración del Líder del Programa.

Dirección de Investigación Agraria  
Subdirección de Investigación de Cultivos  
Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz  
Estación Experimental Agraria Vista Florida - Chiclayo  
Km 8 Carretera Chiclayo - Ferreñafe  
Teléfono: (074) 607099 Telefax: (074) 607098 RPM. #229771  
E-mail: vflorida@inia.gov.pe / citvflorida@inia.gov.pe



DIRECCIÓN DE EXTENSIÓN AGRARIA  
PROGRAMA NACIONAL DE MEDIOS Y  
COMUNICACIÓN TÉCNICA

Av. La Molina N° 1981, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
Telefax: 349-5631 / 349-2600 Anexo 248  
<http://www.inia.gov.pe>