



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ATENUACIÓN NATURAL Y BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS, AMAZONAS, PERÚ**

AUTORA : Bach. Rosa Luz Fernández Valqui

ASESOR : Ing. M.Sc. Elí Pariente Mondragón

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mis Padres

Luzmila Valqui Fernández y José Inés Fernández Sánchez, ustedes son mi pilar fundamental en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y empeño, lleno de amor, paciencia y comprensión durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis Hermanos

Por estar siempre a mi lado brindándome palabras de aliento y superación, por su apoyo y confianza.

A mi Esposo

Por apoyarme incondicionalmente, has estado conmigo incluso en los momentos turbulentos, ser madre aun estando en la Universidad no fue nada fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.

A mi Hijo

Tu amor y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de seguir superándome. Gracias por enseñarme el lado dulce de la vida, fuiste mi más grande motivación para concluir con éxito este proyecto de tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos en el día a día, brindándome la fortaleza de seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mi asesor de tesis el Ing. M.Sc. Elí Pariente Mondragón, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también haberme brindado su valioso tiempo, esfuerzo y dedicación teniendo toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo del trabajo de investigación.

A los docentes de la prestigiosa Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por inculcar conocimientos, por sus valiosos consejos y por sus tiempos.

Al Ing. Erick Aldo Auquiñivin Silva, Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la UNTRM-A, por haberme brindado las facilidades necesarias y hacer uso del laboratorio de Bioquímica y Microbiología dependiente de su facultad.

Al personal técnico del laboratorio de Bioquímica y Microbiología, la Srta. Lisbeth Yoplac Moran; por su apoyo, orientación y paciencia muchísimas gracias por la orientación y el apoyo que me brindaron durante el desarrollo de esta tesis de investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Dr. Policarpio Chauca Valqui
RECTOR**

**Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. Flor Teresa García Huamán
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**M.Sc. Edwin Adolfo Díaz Ortiz
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

Yo Elí Pariente Mondragón, docente de la UNTRM-A, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada “**Atenuación natural y Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú**”, elaborado por la tesista Rosa Luz Fernández Valqui, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Que siendo el docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza quien suscribe, da Visto Bueno al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, Agosto 2020



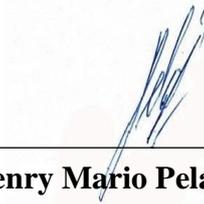
Ing. M.Sc. Elí Pariente Mondragón

ASESOR

JURADO EVALUADOR



Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos
PRESIDENTE



M.Sc. Henry Mario Peláez Rodríguez
SECRETARIO



M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje
VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-K

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Yo ROSA LUZ FERNÁNDEZ VALQUI
identificado con DNI N° 76862270 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
INGENIERIA AMBIENTAL de la Facultad de:
INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: "ATENCIÓN NATURAL Y BIORREMEDIACIÓN
DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS, AMAZONAS,
PERÚ"

que presento para
obtener el Título Profesional de: INGENIERO AMBIENTAL

2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 13 de JULIO de 2020


Firma del(a) tesista

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 03 de AGOSTO del año 2020, siendo las 08.00 pm horas, el aspirante ROSA LUZ FERNÁNDEZ VALQUI defiende en sesión pública la Tesis titulada: "ATENCIÓN NATURAL Y BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS, AMAZONAS, PERÚ"

para obtener el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente : Dr. RICARDO CAMPOS RAMOS

Secretario : Ms. C. HENRY MARIO PELAÉZ RODRÍGUEZ

Vocal : Ms. C. JEFFERSON FITZGERALD REYES FARJE



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 09:15 pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	vii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1 Método.....	25
2.2 Diagrama del trabajo experimental.....	25
2.3 características del suelo.....	25
2.4 Experimentación en cajones.....	27
2.5 Cuenta bacteriana.....	29
III. RESULTADOS	32
3.1 Caracterización de los parametros del suelo.....	32
3.2 Concentración de HTP en el suelo.....	35
3.3 Síntesis de Resultados.....	37
3.4 Eficiencia de Remoción de los HTP.....	37
3.5 Cuenta Bacteriana.....	37
IV. DISCUSIONES.....	40
4.1 Caracterización de los parametros del suelo.....	40
4.2 Concentración de HTP en el suelo.....	41
4.3 Eficiencia de Remoción.....	41
4.4 Cuenta bacteriana.....	42
V. CONCLUSIONES.....	43
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS.....	48
Anexo 1. Análisis de suelo en estudio con concentraciones escasas de HTP.....	48
Anexo 2. Análisis de la concentración de HTP a cero días.....	49
Anexo 3. Análisis de las características físicas y químicas del suelo a cero días.....	50
Anexo 4. Análisis de la concentración de HTP a 60 días.....	51
Anexo 5. Análisis de las características físicas y químicas del suelo con compost a 60 días.....	53

Anexo 6. Análisis de las características físicas y químicas del suelo con HTP a 60 días.....	54
Anexo 7. Materiales utilizados para la atenuación natural y biorremediación del suelo contaminado.....	55
Anexo 8. Cultivo de bacterias en laboratorio.....	55
Anexo 9. Homogenización del suelo contaminado con HTP.....	56
Anexo 10. Materiales utilizados para la atenuación natural y biorremediación del suelo contaminado.....	56
Anexo 11. Agregando 15% de agua	57
Anexo 12. Toma de muestras para sus respectivos análisis	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Derrames de petróleo a nivel mundial en millones de galones.....	16
Tabla 2. Derrames de petróleo en el departamento de Amazonas.....	23
Tabla 3. Técnicas empleadas en la caracterización del suelo estudiado.....	26
Tabla 4. Clasificación y características de cada cajón.....	28
Tabla 5. Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo (durante el muestreo de suelo).....	32
Tabla 6. Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la afección del suelo con HTP.....	33
Tabla 7. Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la experimentación en cajones (suelo con nutrimento).....	33
Tabla 8. Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la experimentación en cajones (suelo sin nutrimento).....	34
Tabla 9. Concentraciones iniciales de los HTP. Muestreo a los cero días (suelo recientemente afectado con HTP)	35
Tabla 10. Concentraciones de HTP a los 60 días (muestreo).....	36
Tabla 11. UFC mediante la técnica de cuenta en placa a los 60 días.....	38
Tabla 12. Conteo de bacterias a inicio de la investigación.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del proceso de atenuación natural y biorremediación en el suelo contaminado.....	25
--	----

RESUMEN

El presente estudio de aplicación de las técnicas “Atenuación natural y Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos” tuvo como objetivos, caracterizar la atenuación natural y biorremediación de los hidrocarburos totales de petróleo proveniente de un suelo agrícola afectado por derrames de petróleo; determinar en pruebas experimentales la evolución de la atenuación natural y biorremediación en función del tiempo; así mismo, seleccionar los factores que influyen en el desarrollo de la atenuación natural y biorremediación. El proceso metodológico consistió en un análisis de los parámetros del suelo, pruebas experimentales, análisis de las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y cuenta bacteriana. En este estudio se halló que las técnicas de atenuación natural y biorremediación pueden aportar con la limpieza de un suelo afectado o contaminado por HTP, con solo la aplicación de compost y agua. Este trabajo de investigación incluye descripciones, ilustraciones, análisis de suelos, también una integración de información de las técnicas de limpieza de suelos contaminados y sobre la situación actual del suelo afectado en el Km 397+300 tramo II del Oleoducto Norperuano.

Palabras claves: Afectación, Remediación, Suelo, Análisis.

ABSTRACT

The present study of application of techniques "Natural attenuation and bioremediation of contaminated soil by hydrocarbons" aimed to characterise the natural attenuation and bioremediation of total oil hydrocarbons from agricultural land affected by oil spills; determine in experimental tests the evolution of natural attenuation and bioremediation as a function of time; also, select the factors that influence the development of natural attenuation and bioremediation. The methodological process consisted of an analysis of the soil parameters, experimental tests, analysis of the concentrations of total oil hydrocarbons (PHT) and bacterial counts. In this study, it was found that the techniques of natural attenuation and bioremediation can contribute to the cleaning of a soil affected or contaminated by HTP, with only the application of compost and water. This research includes descriptions, illustrations, soil analysis and also an investigation of contaminated soil cleaning techniques and the current situation of the affected soil is km 397 + 300 section II of the North Peruvian Pipeline.

Keywords: affectation, bioremediation, soil, analysis

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos presentan un umbral específico de estabilidad, es decir una capacidad para adecuarse de acuerdo a las interacciones humanas, sin entrar en procesos de degradación, lo cual puede variar en función del tiempo, del suelo y su ambiente. No obstante, una misma acción puede inducir procesos de diferente magnitud que pueden ser benéficos o adversos a sus umbrales de estabilidad (Acevedo, 2000). Las diferentes actividades humanas contribuyen a la afectación a contaminaciones de los suelos, causada principalmente, por residuos urbanos, industriales, mineros, entre otros. Así mismo la contaminación por hidrocarburos y productos derivados del petróleo constituyen una perturbación al ambiente debido a su naturaleza persistente y su tendencia a expandirse en el suelo y aguas superficiales (Sifuentes, 2014).

En la extracción del petróleo, se ha desestimado el bienestar del ambiente, lo que ha contribuido a la degradación de los elementos vitales de los seres humanos, agua, aire, suelo. En Perú apenas existen esfuerzos sobre estudios de contaminación y remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, en comparación con el aire y el agua referente a estudios de contaminación. Por lo que es necesario realizar estudios para conocer la situación actual de los suelos cercanos a los ramales del oleoducto norperuano, procesos e investigaciones indispensables para el uso adecuado y conservación de los suelos (Sifuentes, 2014).

Se ha encontrado petróleo en todos los continentes del planeta, excepto en la Antártida. Sin embargo, la distribución mundial de los yacimientos no es uniforme, se concentran en ocho grandes zonas petrolíferas, algunas de las cuales se encuentran en el mar y son las siguientes (Comunidad de Madrid, 2002):

- La de América del Norte, que incluye los Estados Unidos y Canadá (17%);
- La de América Central y del Sur, con México, Venezuela, Argentina y Brasil como principales países productores (12%);
- La de África del Norte, con Libia, Argelia y Egipto (5%);
- La del resto de África, con Nigeria (3%);
- Irán, Irak y Emiratos Árabes Unidos (20%);
- La de Extremo Oriente, que incluye Indonesia, China e India (20%);

- La de la Europa del Mar del Norte, con Gran Bretaña y Noruega como grandes productores (6%).

Los derrames de hidrocarburos tanto en el suelo como en el agua han sido un problema desde el descubrimiento del petróleo como combustible. Los derrames de petróleo y las descargas de desechos de petróleo al mar por parte de refinерías, fábricas o embarcaciones constituyen un potencial daño a los animales y plantas, las cuales pueden pasar a través de la cadena alimenticia de un área y ser ingeridos eventualmente por personas (Pascucci, 2011). Así mismo los procesos de explotación y transporte de hidrocarburos provocan efectos adversos al hombre y al ambiente de forma directa e indirecta y que inevitablemente deterioran gradualmente al ambiente (Ponce, 2014). El listado de los principales derrames de hidrocarburos a nivel mundial se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Derrames de petróleo a nivel mundial en millones de galones.

N°	Ubicación	Volumen derramado (M/gal)	Fecha
1.	Terminales, buques petroleros, 8 fuentes totales; Instalaciones fuera de las costas del Golfo Pérsico en Kuwait y en Arabia Saudita.	240.0	Enero 26, 1991
2.	Pozo Ixtoc I. Golfo de México, Ciudad del Carmen. Campeche, México.	140.0	Junio 03, 1979
3.	Plataforma N° 3 en las costas del Golfo Pérsico en Irán.	80.0	Febrero 04, 1983
4.	Pozo Petrolero en Fergana Valley, Uzbekistan a 500 km de Namangan.	80.0	Marzo 02, 1992
5.	Buque petrolero Castillo de Bellver en Costas del Océano Atlántico en Sudáfrica a 110 km al noroeste de Ciudad del Cabo.	78.5	Agosto 06, 1983

6.	Buque petrolero Amoco Cádiz, costas del Atlántico en Porsall, Britania. Francia.	68.7	Marzo 16, 1978
7.	Buque petrolero Odyssey, costas del Atlántico Norte en Canadá a 1175 km al noreste de St. Johns, Newfoundland.	43.1	Noviembre 10, 1988
8.	Buque petrolero Antamic Empress, Mar Caribe a 32 km al noreste de Trinidad y Tobago.	42.7	Julio 19, 1979
9.	Pozo de producción D-103, a 8'' km al sudeste de Trípoli. Libia.	42.0	Agosto 01, 1980
10.	Buque petrolero Antamic Empress, a 450 km al este de Barbados.	41.5	Agosto 02, 1979
11.	Buque petrolero Torrey Canyon, Escocia, Reino Unido.	38.2	Marzo 18, 1967
12.	Buque petrolero Sea Star, Omán, Golfo de Omán.	37.9	Diciembre 19, 1972
13.	Buque petrolero Irenes Serenade, Mar Mediterráneo en Grecia.	36.6	Febrero 23, 1980
14.	Buque petrolero Texaco Denmark, Mar del Norte en Bélgica.	31.5	Diciembre 07, 1971
15.	Buque petrolero Hawaiian Patriot, Océano Pacífico en E.U. a 593 km al oeste de las Islas de Kanai, Hawai.	31.2	Febrero 23, 1977
16.	Tanques de almacenamiento en Shauaybah, Kuwait.	31.2	Agosto 20, 1981
17.	Líneas de conducción, en Usinsk, Rusia.	30.7	Octubre 25, 1994
18.	Buque petrolero Independentza, Estrecho de Bosphorus, Turkia, cerca	28.9	Noviembre 15, 1979

	de Estambul a 0.8 km del puerto de Hydarpassa.		
19.	Buque petrolero Julius Schindler, Islas de Azores en Ponta Delgada, Portugal.	28.4	Febrero 11, 1969
20.	Buque petrolero Urquiola, puerto de la Coruña, España.	28.1	Mayo 12, 1976
21.	Pozo y línea de conducción N° 126, Ahvazin, Irán.	28.0	Mayo 25, 1978
22.	Buque petrolero Braer, Islas Shetland, Garth Ness, Reino Unido.	25.0	Enero 05, 1993
23.	Buque petrolero Jakob Maersk, Porto de Leisoos, Oporto, Portugal.	24.3	Enero 29, 1975
24.	Tanque de almacenamiento N° 6, Forcados, Nigeria.	23.9	Julio 06, 1979
25.	Buque petrolero de doble cubierta Aegean Sea, Puerto de la Coruña, España.	21.9	Diciembre 03, 1992
26.	Buque petrolero Nova, Golfo Pérsico en Irán a 140 km al sur de la Isla de Kharg.	21.4	Diciembre 06, 1985
27.	Buque petrolero Sea Empress, Bahía Mill cerca de la entrada al puerto de Milford Haven, Reino Unido.	21.3	Febrero 15, 1996
28.	Buque petrolero Wafra, Océano Atlántico en Sudáfrica.	20.2	Febrero 27, 1971
29.	Tanque de almacenamiento, Salisbury, Zimbabue.	20.0	Diciembre 11, 1978
30.	Buque petrolero Khark 5, Océano Atlántico a 185 km de las costas de Marruecos.	20.0	Diciembre 19, 1989

31.	Buque de carga Otello, Bahía Tralhavest al este de Vaxholm, Suecia.	18.0	Marzo 20, 1970
32.	Buque petrolero Epic Colotronis, Mar Caribe a 111 km al noroeste de Puerto Rico.	18.0	Mayo 13, 1975
33.	Buque petrolero Sinclair Petrolore, Brasil.	17.6	Diciembre 06, 1960
34.	Buque petrolero Katina P., Bahía de Maputo, Mozambique.	16.0	Abril 17, 1992
35.	Buque petrolero Assimi, Ras al Hadd, Golfo de Omán, Omán, a 93 km de Muscat.	15.8	Enero 07, 1978
36.	Buque petrolero Yuyo Maru N° 10, Isla Honshu en la Bahía de Tokio, Japón.	15.8	Noviembre 09, 1974
37.	Tanques de almacenamiento, Sendai, Japón.	15.0	Junio 12, 1978
38.	Buque petrolero ABT Summer, Océano Atlántico, mar abierto a 1287 km de las costas de Angola.	15.0	Mayo 28, 1991
39.	Buque petrolero Heimvard, Isla Hokkaido, Océano Pacífico, Japón.	14.7	Mayo 22, 1965
40.	Buque petrolero Andros Patria, Bahía de Biscay fuera de Cabo Villano, España.	14.6	Diciembre 31, 1978
41.	Buque petrolero World Glory, Océano Índico, Sudáfrica, a 105 km al este de Durban.	14.2	Junio 13, 1968
42.	Buque petrolero British Ambassador, Océano Pacífico, Japón a 33 km de la Isla Iwo Jima.	14.2	Enero 13 de 1975

43.	Buque petrolero Pericles GC, Golfo Pérsico, a 30 km al noreste de Doha, Qatar.	14.0	Diciembre 09, 1983
44.	Buque petrolero Metula, Estrecho de Magallanes, Chile.	13.9	Agosto 09, 1974
45.	Buque petrolero Ennerdale, Seychelies, Océano Indico.	13.8	Junio 01, 1978
46.	Buque petrolero Tadotsu, Estrecho de Malaca, cerca de Dumai, Indonesia.	13.2	Diciembre 07, 1978
47.	Buque petrolero Mandoil. Océano Pacifico. Fuera del rio Columbia y cerca de Warrenton, Oregon, E.U.	12.6	Febrero 29, 1968
48.	Tanque de almacenamiento, Refinería Mizushina, Kurashiki, prefectura de Okayama, Japón.	11.6	Diciembre 18, 1974
49.	Buque petrolero Napier, sudeste del Océano Pacifico al este de las costas de Chile.	11.3	Junio 10, 1973
50.	Buque petrolero Trader. Mar Mediterráneo, al este de las costas de Grecia.	11.0	Junio 11, 1972
51.	Buque petrolero Juan Antonio Lavallega, puerto de Arzew, Algeria.	11.0	Diciembre 29, 1980
52.	Buque petrolero Thanassis A. en aguas internacionales al sur del Mar de China, a 700 km fuera de las costas de Hong Kong.	10.9	Octubre 21, 1989
53.	Buque petrolero Exxon Valdez, Prince William Sound, Valdez Alaska, E.U.	10.8	Marzo 24, 1989
54.	Líneas de conducción, Mardin, Turkia.	10.7	Octubre 19, 1978

55.	Buque petrolero Barmah Agate, Bahía Galveston, Texas, E.U.	10.7	Noviembre 01, 1979
56.	Buque petrolero Athenian Venture, Océano Atlántico, a 563 – 644 km al sudeste de Cabo Race, Newfoundland, Canadá.	10.6	Abril 22, 1988
57.	Buque petrolero <i>desconocido</i> , Planta termoeléctrica Adolfo López Mateos Bahía de Campeche en el Golfo de México.	10.6	Marzo 07, 1996
58.	Tanque de almacenamiento, Benuelan, Puerto Rico.	10.5	Diciembre 14, 1978
59.	Buque petrolero Borag, Taiwan, Mar del este de China a 3 km al norte de Chilung.	10.4	Febrero 07, 1977
60.	Pozo de producción Abkatun 91, Bahía de Campeche, a 64 km al noroeste de Ciudad del Carmen. México.	10.4	Octubre 23, 1986
61.	Buque petrolero St. Peter, Océano Pacífico, a 56 km al oeste de Punta de Manglares, Colombia.	10.3	Febrero 06, 1976
62.	Tanque de almacenamiento, Bahía las Minas, Colón, Panamá.	10.1	Abril 27, 1986

Fuente: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (1997)

En Sudamérica los principales países explotadores de petróleo son Venezuela, México y Colombia; en menor proporción los países de Ecuador y Perú. En el Perú, desde el año 2003 existe un incremento de reservas probadas y probables de petróleo crudo como de hidrocarburos líquidos. A pesar de una historia de muchos años de producción de petróleo, no se evidencia el agotamiento del recurso. El incremento de la actividad petrolera de los últimos años, motivados por los elevados precios del petróleo, ha permitido revertir la tendencia negativa tanto en producción como en reservas. A pesar

del relativamente reciente incremento en la producción de petróleo en el Perú, éste resulta insuficiente para satisfacer la demanda interna, por lo que se hace necesaria la importación de crudo (OSINERGMIN, 2005).

En el Perú se encuentra El oleoducto Norperuano de Petroperú que entro en operaciones en el año de 1972, tiene 854 Km de longitud y dos ramales. El Oleoducto Principal, que fue el primero en ser construido, se divide en el Tramo I y Tramo II y va desde la Estación 1 en San José de Saramuro 2 hasta el Terminal Bayóvar³. El Tramo I inicia en la Estación 1 y llega hasta la Estación 5 en Saramiriza 4, ambas ubicadas en el departamento de Loreto. El Tramo II comprende las Estaciones 5, 6, 7, 8 y 9; y cumple la función de asegurar el transporte del petróleo hasta el Terminal Bayóvar (El peruano, 2015). Desde 1977 al 2016, la tubería del oleoducto ha sufrido 61 roturas y consecuentes derrames de petróleo; no cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), pero se maneja con un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) que establece su compromiso de adoptar medidas de mantenimiento integral de las tuberías para evitar impactos negativos en el ambiente (Salazar, 2016).

La principal fuente de contaminación en la región amazonas es el oleoducto Norperuano, el cual ha sufrido muchas roturas en los diferentes tramos que atraviesan distintos ecosistemas de la región. Desde el año 2011, cuando el OEFA asumió competencias de fiscalización ambiental en el subsector hidrocarburos, hasta el 2016, se ha registrado 20 emergencias ambientales significativas en el oleoducto Norperuano de Petroperú de las cuales seis ocurrieron en amazonas (OEFA, 2016). Esta información resulta alarmante y debería generar concientización y toma de medidas urgentes en cuanto a la generación y al tratamiento de estos residuos generados para el cuidado del medio ambiente y de la humanidad (Ward, 2004). El principal derrame en el departamento de amazonas ocurrió el 25 de enero del 2016 en la provincia de Bagua (ARA, 2016).

Tabla 2. Derrames de petróleo en el departamento de Amazonas

Fecha de emergencia	Descripción	Región	Provincia	Distrito
03/04/2011	Derrame ocurrido en la estación N°7 progresiva km 513+500-tramo II	Amazonas	Utcubamba	El Milagro
04/09/2012	Derrame ocurrido en el km 397+300tramo II	Amazonas	Condorcanqui	Nieva
21/09/2013	Derrame ocurrido en el km 504+400 tramo-II	Amazonas	Bagua	Bagua
19/02/2015	Progresiva km 504+086 tramo II	Amazonas	Bagua	La Peca
06/11/2015	Km 516+408 tramo II	Amazonas	Utcubamba	El Milagro
25/01/2016	km 440+785 tramo II	Amazonas	Bagua	Imaza
10/08/2016	Km 365 del Oleoducto Norperuano	Amazonas	Condorcanqui	Nieva

Fuente: Autoridad Regional Ambiental de Amazonas – ARA 2016

Esta investigación “Atenuación natural de suelos contaminados con hidrocarburos” pretendió estudiar la atenuación natural y la biorremediación de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP), en suelos contaminados con HTP, a través de pruebas experimentales; al mismo tiempo analizo los factores que influyen en la evolución de la remediación natural (Atenuación natural). No obstante, contribuye a establecer el tiempo que puede llevar a un suelo contaminado a rehabilitarse de forma natural.

Este trabajo de investigación pretendió reducir la concentración de hidrocarburos totales de petróleo mediante una serie de mecanismos y así poder evitar el riesgo a la salud humana y ecológica. Así mismo, este trabajo considero como objetivos específicos:

Caracterizar la atenuación natural y biorremediación de los hidrocarburos totales del petróleo proveniente de un suelo agrícola afectado por derrame de petróleo, determinar

en pruebas experimentales de la evolución de la atenuación natural y biorremediación en función del tiempo y seleccionar los factores que influyen en el progreso de la atenuación natural y la biorremediación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Método

El suelo analizado fue obtenido de las áreas donde antes ocurrió un derrame de petróleo, corresponde a un suelo afectado por hidrocarburos totales del petróleo.

2.2 Diagrama del trabajo experimental

Con la finalidad de comprender la eficiencia de la atenuación natural y biorremediación en función del tiempo, se realizó el siguiente diagrama:

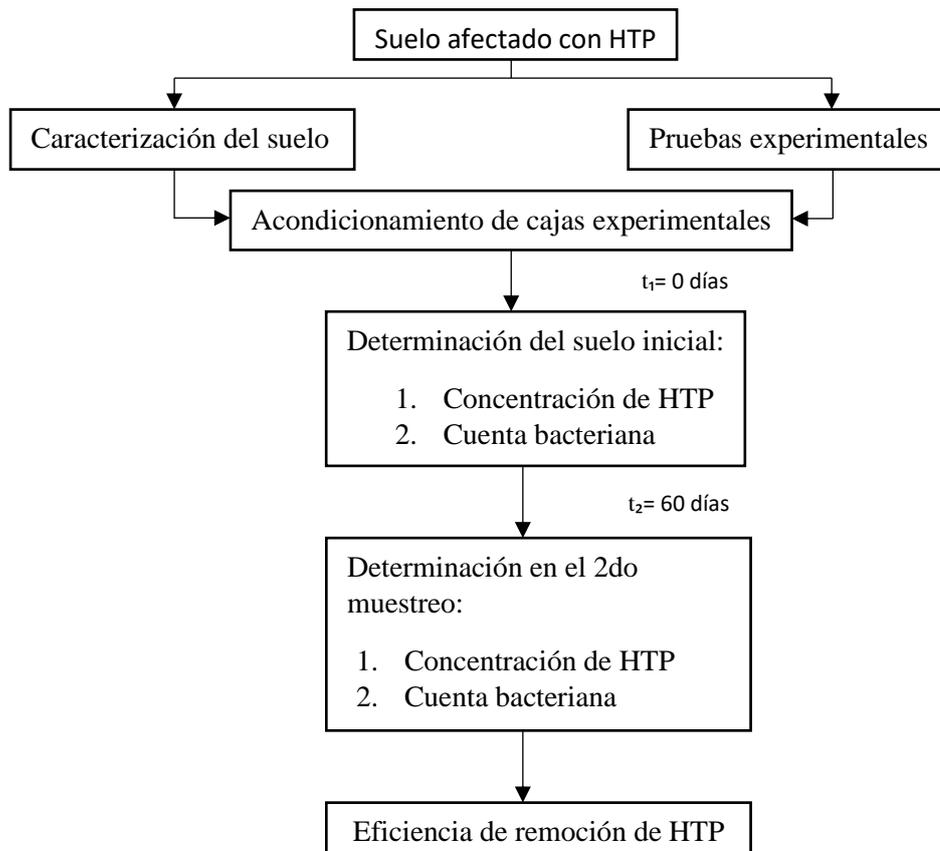


Figura 1: Diagrama del proceso de atenuación natural y biorremediación en el suelo contaminado.

2.3. Características del suelo

La caracterización de un suelo afectado por hidrocarburos u otras sustancias peligrosas permite conocer las características de funcionamiento del subsuelo como filtro amortiguador, y el comportamiento de los contaminantes en él (Flores *et al.* 2004).

En principio se realizó la caracterización del suelo en estudio proveniente del área afectado por un derrame de petróleo, específicamente del Km 397 + 300 Tramo II del oleoducto Norperuano; conteniendo concentraciones escasas de hidrocarburos, en un rango de 3.96 mgKg^{-1} a 14.766 mgKg^{-1} (Anexo 1).

Seguidamente se realizó la caracterización del suelo de estudio, este consistió en la determinación de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo afectado, por el derrame de hidrocarburos. Así mismo, con la finalidad poder determinar la evolución de la atenuación natural y la biorremediación en función al tiempo, se procedió a contaminar el suelo con hidrocarburos solicitados a la refinería El Milagro en la Provincia de Utcubamba. El suelo se contaminó en una concentración de 66.580 mgKg^{-1} (Anexo 2), luego se realizó nuevamente una caracterización de los parámetros del suelo.

Tabla 3: Técnicas empleadas en la caracterización del suelo estudiado

Parámetros	Técnicas utilizadas
Potencial de hidrogeno (pH)	Método del potenciómetro en relación (1:1)
Conductividad eléctrica	Del extracto acuoso en relación al suelo (1:1)
P,K,C,M.O,N	Método de Walkley y Black
Análisis mecánico(Arena, Limo y Arcilla)	Método del hidrómetro
Clase textual	Método del hidrómetro
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Saturación con acetato de amonio
Cationes cambiables	Remplazamiento con acetato de amonio
Cuenta bacteriana	Método de Cuenta en placa

Fuente: Elaboración propia

2.4. Experimentación en cajones

El experimento consistió en la preparación y en el acondicionamiento de 14 cajones de madera; que sirvieron como contenedores de almacenamiento, a los cuales se añadió 2.732 kg de suelo contaminado con HTP a cada uno. Las variables consideradas fueron las siguientes y se siguió el proceso metodológico de Corona (2004):

- Contenido de agua (15%).
- Adición de compost

Para la adición de nutrientes, se consideró la concentración de carbono presente en el suelo, partiendo de la relación 100:10:1 (C:N:K), así como las concentraciones de carbono, nitrógeno y potasio para la degradación del suelo, se añadió compost como nutriente orgánico en la proporción C,N y K (100:10:1). El proceso técnico consistió en lo siguiente:

Cálculo del contenido de humedad (H₂O)

(1) El total de suelo contaminado por cajón es de 2.732 kg.

(2) Para la adición del 15% de contenido de H₂O, se realizó la siguiente multiplicación.

$$2.732 \text{ kg} \times 15/100 = 0.4098 \text{ kg de agua}$$

Entonces:

$$2.732 \text{ kg} + 0.4098 \text{ kg} = 3.1418 \text{ kg} = 3141.8 \text{ gr de suelo húmedo/cajón}$$

Cálculo del contenido de carbono

(1) Si tengo de carbono

C: 3.14%

$$3141.8 \text{ gr} \times (3.14/100) = 98.65 \text{ gr de C}$$

Necesito proporciones de 100:10:1 (C:N:K)

$$100 \longrightarrow 98.65 \text{ gr C}$$

$$10 \longrightarrow 9.865 \text{ gr N}$$

$$1 \longrightarrow 0.9865 \text{ gr K}$$

Por lo tanto:

➤ N: 0.27%

$$3141.8\text{gr} \times (0.27/100) = 8.48\text{gr de N}$$

➤ K: 69.92ppm

$$\text{Si: } 1\text{ppm} = 1\text{mg/kg}$$

$$\text{Entonces: } 69.92\text{ppm} = 69.92\text{mg/kg}$$

$$69.92\text{mg/kg} \times 3.1418\text{kg} = 219.67\text{mg de K}$$

$$\text{Por lo tanto: } 219.67\text{mg} \times (1\text{g}/1000\text{mg}) = 0.22\text{gr de K}$$

- Si falta:

$$9.865\text{gr N} - 8.48\text{gr N} = 1.39\text{gr de N}$$

$$0.9865\text{gr K} - 0.22\text{gr K} = 0.77\text{gr de K}$$

- Agregar

$$1.39\text{grN} \times (100\text{grCompost}/0.56\text{grN}) = 248.21\text{grN}$$

$$219.67\text{mgk} \times (1\text{kgrCompost}/9840.3\text{mgK}) = 0.022\text{kg} \times (1000\text{g}/1\text{kg}) = 22.32\text{grk}$$

A cada cajón se le agrego 248.21gr de nitrógeno debido que fue la mayor proporción que se requirió y es la que en su mayoría los microorganismos necesitan para su nutrición (Gondim, 2013).

Tabla 4. Clasificación y características de cada cajón.

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
C1	C1:1	Suelo con HTP + 15% contenido de agua
	C1:2	Suelo con HTP+15% contenido de agua (duplicado)
	C1:3	Suelo con HTP +15% contenido de agua (duplicado)

	C1:4	suelo con HTP +15% contenido de agua (duplicado)
	C1:5	suelo con HTP +15% contenido de agua (duplicado)
	C1:6	Suelo con HTP +15% contenido de agua(duplicado)
	C1:7	Suelo con HTP +15% contenido de agua(duplicado)
C2	C2:1	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:2	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:3	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:4	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:5	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:6	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)
	C2:7	suelo con HTP +15% contenido de agua + compost (duplicado)

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas en laboratorio se consideraron sumamente importante para poder conocer la evolución de la atenuación natural y biorremediación del suelo contaminado con HTP

2.5. Cuenta bacteriana

Con la finalidad de investigar el contenido de microorganismos viable en el suelo, la técnica más utilizada es la técnica de cuenta en placa (Nyer, 1993), esta técnica contribuye a identificar el número de colonias presentes en el suelo.

Se realizaron dos conteos de microorganismos, el primero a cero días y el segundo a los 60 días.

El proceso metodológico utilizado, consiste en los siguientes pasos:

Conteo de microorganismos a cero días

- (1) Se preparó 20 gr de suelo contaminado y se enriqueció durante 8 horas en partes iguales (10gr) con agua peptonada y agua destilada.
- (2) Seguidamente se preparó 2.99 gr, de agar nutritivo juntamente con 130 ml, de agua destilada en un matraz de 500ml; este proceso se realizó cuidadosamente para no contaminar la muestra hasta su ebullición.
- (3) Para el auto clavado se preparó agar nutritivo y tubos de ensayo, a cada tubo se agregó 9ml de agua destilada y se auto clavo a 121°C durante 15min en presión de atmosfera.
- (4) Después del auto clavado se retira los materiales y se dejar enfriar; el agar nutritivo debe estar a una temperatura mínima para no tomar un estado gelatinoso.
- (5) Pasada las 8 horas del enriquecimiento se encendió dos mecheros y se colocó los tubos de ensayo en un separador.
- (6) Así mismo se extrajo 1ml de muestra enriquecida con agar nutritivo y se colocó en un tubo de ensayo realizando dos succiones para luego extraer la tercera, la tercera succión se colocó en el segundo tubo y así sucesivamente hasta extraer la tercera succión en el sexto tubo de ensayo.
- (7) Se extrajo la tercera succión del sexto tubo de ensayo y se colocó en el centro de una placa, así sucesivamente en todas las placas.
- (8) A cada placa se le agrego 20ml de agar nutritivo y se cerró realizando cuatro giros a la derecha y cuatro a la izquierda.
- (9) Posteriormente se realizó el mismo procedimiento a la muestra enriquecida con agua destilada.
- (10) Finalmente se colocó las placas a la estufa por 7 días a una temperatura de 37°C.

Conteo de microorganismos a 60 días

- (1) Se realizó la toma de muestra con agua peptonada por que inicialmente fue la que cultivo en su mayoría bacterias.

- (2) Se preparó 10gr de suelo contaminado con HTP más agua peptonada y se enriqueció durante 8 horas.
- (3) Posteriormente se preparó 13.8gr de agar nutritivo más 600ml de agua destilada en un matraz de 1000ml; se homogenizo en una cocina eléctrica hasta que esta empiece a hervir.
- (4) Se colocó en el auto clavado el agar nutritivo y los tubos de ensayo a 121°C en presión atmosfera.
- (5) Después del auto clavado se retira los materiales y se dejar enfriar; el agar nutritivo debe estar a una temperatura mínima para no tomar un estado gelatinoso.
- (6) Pasada las 8 horas del enriquecimiento se encendió dos mecheros y se colocó los tubos de ensayo en un separador.
- (7) Por último, se extrajo 1ml de muestra enriquecida con agar nutritivo y se colocó en un tubo de ensayo realizando dos succiones para luego extraer la tercera, la tercera succión se colocó en el segundo tubo de ensayo.
- (8) Se extrajo la tercera succión del segundo tubo de ensayo y se sembró rápidamente en el centro de una placa, así sucesivamente en todas las placas.
- (9) Así mismo se agregó 20 ml de agar nutritivo y se realizó 4 movimientos a la derecha y 4 a la izquierda.
- (10) Finalmente, cuando las placas se solidificaron cada una de ellas se invirtieron y se forraron completamente de papel bond para posteriormente ser puestas en la estufa a 37°C por 7 días.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los parámetros del suelo

La caracterización del suelo, se realizó al extraer la muestra de suelo, al afectar el suelo y luego de la experimentación en los cajones, mediante técnicas experimentales utilizadas en el laboratorio de Agua y Suelo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), documentando con ello, los parámetros físico-químicos y se expresan en la tabla 5.

Tabla 5: Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo (durante el muestreo del suelo)

PARÁMETROS		SUELO AFECTADO CON HTP	Unidades
Potencial de Hidrogeno (pH)		5.38	
Conductividad eléctrica (CE)		0.05	dS/m
Fosforo (P)		4.18	ppm
Potasio (K)		183.92	ppm
Carbono (C)		3.64	%
Nitrógeno (N)		0.31	%
Análisis Mecánico	Arena	60	%
	Limo	14	%
	Arcilla	26	%
Clase textual		Fr.Ar.A.	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)		25.60	meq/100g
Cationes Cambiabiles	Ca ⁺²	16.53	meq/100g
	Mg ⁺²	3.14	meq/100g
	K ⁺	0.36	meq/100g
	Na ⁺	0.18	meq/100g
	Ar ⁺³ +H ⁺	0.16	meq/100g

Fuente: Jara, 2018

Tabla 6: Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la afectación del suelo con HTP

PARÁMETROS		SUELO AFECTADO CON HTP	Unidades
Potencial de Hidrogeno (pH)		7.00	
Conductividad eléctrica (CE)		0.03	dS/m
Fosforo (P)		1.58	ppm
Potasio (K)		69.92	ppm
Carbono (C)		3.14	%
Nitrógeno (N)		0.27	%
Análisis Mecánico	Arena	82.02	%
	Limo	8.0	%
	Arcilla	10.0	%
Clase textural		A.Fr.	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)		8.07	meq/100g
Cationes Cambiables	Ca ⁺²	6.61	meq/100g
	Mg ⁺²	0.99	meq/100g
	K ⁺	0.10	meq/100g
	Na ⁺	0.17	meq/100g
	Ar ⁺³ +H ⁺	0.00	meq/100g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la experimentación en cajones (suelo con nutrimento)

PARÁMETROS		SUELO AFECTADO CON HTP	Unidades
Potencial de Hidrogeno (pH)		6.98	
Conductividad eléctrica (CE)		0.80	dS/m
Fosforo (P)		21.30	Ppm
Potasio (K)		1037.88	Ppm

Carbono (C)		5.60	%
Nitrógeno (N)		0.48	%
Análisis Mecánico	Arena	84.0	%
	Limo	8.0	%
	Arcilla	8.0	%
Clase textural		A.Fr.	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)		29.60	meq/100g
Cationes Cambiabiles	Ca ⁺²	20.86	meq/100g
	Mg ⁺²	4.00	meq/100g
	K ⁺	2.52	meq/100g
	Na ⁺	0.59	meq/100g
	Ar ⁺³ +H ⁺	0.00	meq/100g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Resultados de la caracterización de los parámetros del suelo luego de la experimentación en cajones (suelo sin nutrimento)

PARÁMETROS		SUELO AFECTADO CON HTP	Unidades
Potencial de Hidrogeno (pH)		5.35	
Conductividad eléctrica (CE)		0.09	dS/m
Fosforo (P)		7.74	ppm
Potasio (K)		132.05	ppm
Carbono (C)		2.22	%
Nitrógeno (N)		0.19	%
Análisis Mecánico	Arena	88.0	%
	Limo	6.0	%
	Arcilla	6.0	%
Clase textural		A.Fr.	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)		11.20	meq/100g

Cationes Cambiabiles	Ca ⁺²	6.28	meq/100g
	Mg ⁺²	1.44	meq/100g
	K ⁺	0.16	meq/100g
	Na ⁺	0.14	meq/100g
	Ar ⁺³ +H ⁺	0.09	meq/100g

Fuente: Elaboración propia

3.2. Concentración de HTP en el suelo

Se realizaron dos muestreos, con la finalidad de analizar las concentraciones de HTP en las muestras experimentales; un muestreo inicial y un segundo muestreo durante el experimento, el periodo entre cada muestreo fue de 60 días. Se obtuvieron muestras simples para determinar las concentraciones de hidrocarburos totales dl petróleo por el método de cromatografía de gases para HTP, de la EPA (Environmental Protection Agency)

Tabla 9: Concentraciones iniciales de HTP. Muestreo a los cero días (suelo recientemente afectado por HTP)

CONCENTRACIÓN DE H ₂ O	CAJÓN	CONCENTRACIÓN DE HTP (mg/kg)	ECA PARA SUELOS AGRÍCOLAS (mg/kg)
15%	C1:1	66.580	200
	C1:2	66.580	
	C1:3	66.580	
	C1:4	66.580	
	C1:5	66.580	
	C1:6	66.580	
	C1:7	66.580	
	C2:1	66.580	
	C2:2	66.580	
	C2:3	66.580	

	C2:4	66.580	
	C2:5	66.580	
	C2:6	66.580	
	C2:7	66.580	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Concentraciones de HTP a los 60 días (Muestreo)

CONCENTRACIÓN DE H ₂ O	CAJÓN	CONCENTRACIÓN DE HTP (mg/kg)	ECA PARA SUELOS AGRÍCOLAS (mg/kg)
15%	C1:1	<0.603	200
	C1:2	<0.603	
	C1:3	<0.603	
	C1:4	<0.603	
	C1:5	<0.603	
	C1:6	<0.603	
	C1:7	<0.603	
	C2:1	<0.603	
	C2:2	<0.603	
	C2:3	<0.603	
	C2:4	<0.603	
	C2:5	<0.603	
	C2:6	<0.603	
	C2:7	<0.603	

Fuente: Elaboración propia

3.3.Síntesis de resultados

En el muestreo inicial, inmediatamente al afectar el suelo con HTP, se obtuvieron concentraciones iniciales considerables. Seguidamente luego de 60 días las concentraciones se redujeron considerablemente. Estos resultados documentan una degradación de HTP en los primeros días (60 días) para HTP. Esto indica, que de acuerdo a los factores ambientales estudiados, entre ellos, aireación, contenido de humedad y nutrientes, sirvieron como bioestimulantes para la mayor actividad de los microorganismos.

3.4.Eficiencia de remoción de los HTP

La eficiencia de remoción obtenida en cada uno de los cajones fue mediante el siguiente cálculo de eficiencia (Corona, 2004):

$$n = \frac{(c1-c2)}{c1} \times 100$$

Donde:

n = Eficiencia de remoción (%)

C1= Concentración inicial (mg/kg)

C2= Segunda concentración (mg/kg)

Entonces:

$$n = \frac{(66.580-0.603)}{66.580} \times 100$$
$$n=99.09\%$$

Como se puede observar en la tabla 9, la eficiencia total de remoción en cada cajón es de 99.09%, es decir que las concentraciones de HTP ha disminuido satisfactoriamente con respecto a la concentración de HTP que se tenía inicialmente, notándose que en los 14 cajones se presentó la disminución y alta eficiencia de remoción de HTP (100%).

3.5.Cuenta bacteriana

La determinación de las UFC/gr, de suelo, se realizó al inicio de la investigación y después de la experimentación entre el periodo de 60 días. Esto se realizó con la finalidad de encontrar una relación entre las concentraciones y las bacterias en el suelo.

En principio, con la finalidad de evitar estropear el suelo en la prueba de cuenta en placa, se realizaron pruebas con dos métodos “enriquecimiento con Agar nutritivo” y “enriquecimiento con agua destilada”, llegando a determinar que con el enriquecimiento de Agar nutritivo se encuentra 28 UFC/gr.

Los valores obtenidos en el segundo muestreo, durante la técnica en placa, se expresa en la tabla 11.

Tabla 11. UFC mediante la técnica de cuenta en placa a los 60 días.

TIEMPO (días)	CÓDIGO	CÓDIGO DE PLACA	UFC/g	
60	C1	C1:1	6	
		C1:1 (10 ⁻²)	12	
		C1:2	5	
		C1:2(10 ⁻²)	6	
		C1:3	7	
		C1:3(10 ⁻²)	6	
		C1:4	2	
		C1:4(10 ⁻²)	9	
		C1:5	10	
		C1:5 (10 ⁻²)	5	
		C1:6	3	
		C1:6(10 ⁻²)	2	
		C1:7	18	
		C1:7(10 ⁻²)	13	
		C2	C2:1	69
			C2:1(10 ⁻²)	45
			C2:2	58
			C2:2(10 ⁻²)	28
			C2:3	29
	C2:3(10 ⁻²)		28	
		C2:4	30	

		C2:4 (10^{-2})	18
		C2:5	43
		C2:5(10^{-2})	26
		C2:6	35
		C2:6(10^{-2})	28
		C2:7	54
		C2:7(10^{-2})	31

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo se procedió a realizar un cultivo de bacterias a inicios de la investigación y a final de la investigación, esto fue para tener una relación entre la concentración de HTP y las bacterias para finalmente analizarlas.

Tabla 12. Conteo de bacterias a inicio de la investigación.

TIEMPO (días)	CUENTA EN PLACA	CÓDIGO DE PLACA	UFC/g
0	Enriquecimiento con Agua peptonada	P1:1	28
		P1:2	23
		P1:3	15
	Enriquecimiento con Agua destilada	P2:1	10
		P2:2	9
P2:3		7	

Fuente: Elaboración propia

El proyecto de investigación en principio incluyó un análisis estadístico, siguiendo las pautas de un DCA, y el proceso de los datos aplicando un análisis de varianza (prueba f); sin embargo, dado que las concentraciones finales luego del experimento resultó con igual concentración ($<0.6\text{mg/kg}^{-1}$) y con una eficiencia de remoción al 99.09% de HTP; el análisis estadístico fue omitido, puesto que el análisis estadístico, sería no significativo.

IV. DISCUSIONES

4.1. Caracterización de los parámetros del suelo

Con base en los resultados obtenidos de la caracterización del suelo puede afirmarse que es un suelo ácido, con pH (5.35 – 6.98), parámetro favorable en los procesos de degradación, considerando que luego de ser afectado el suelo, la concentración de HTP fue 66.6mg/kg^{-1} . Los valores de Conductividad Eléctrica (C.E) luego de la experimentación fueron de (0.80-0.09dS/m) indicando suelos no salinos 0.2 (dS/m) (Flores, 1991); interpretándose como un suelo, cuya presencia de sales no es dañina para el mismo suelo y cultivos (Badia, 1992) por lo tanto estos volúmenes (0.80-0.09dS/m) no fueron una limitante para el buen funcionamiento de los microorganismos (Santos, 2007).

De acuerdo a la concentración de nutrientes Fosforo (P), Potasio (K), Nitrógeno (N) y Carbono (C) es un suelo con concentración alto en fosforo, potasio y carbono, y pobre en nitrógeno total (N); sin embargo, los microorganismos requieren nutrientes inorgánicos (N, P) en cantidades mínimas para soportar el crecimiento celular y sustentar el proceso de biodegradación; en este caso se cumplió con el requisito mínimo (Santos, 2007).

El análisis mecánico o características texturales, expresan la cantidad de partículas presentes en el suelo (arcillas, limos, arenas); en este estudio, en los análisis finales (Tabla 7 y 8) se aprecia la presencia de la clase textural Arena Franca (AFr) en proporciones arena (88%), limo (6%) y arcilla (6%), por lo que teóricamente, su permeabilidad es rápida (Guerrero,2013); indicando mayor ventaja para el paso del agua, oxígeno y nutrientes necesarios en el suelo (Narro, 1994).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) luego de la experimentación fue de (29.60-11.20meq/100gr), indicando valores altos (15-30 meq/100gr) (Intagri, 2015); e interpretándose como alta habilidad del suelo para retener nutrientes por el contenido del material Ilita y Clorita presente, puesto que es un suelo rico en materia orgánica (Chavarría, 2011). La CIC es importante dentro del potencial nutricional del suelo porque tienen la propiedad de comportarse como iones de carga negativa, estos son capaces de retener o adsorber cationes. Esta capacidad del suelo es lo que permite retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas (Garrido, 1993). La CIC también almacenan

nutrientes para las plantas Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , y posteriormente los libera de forma paulatina (Zavaleta, 1992).

4.2. Concentración de HTP en el suelo

En el primer muestreo se obtuvieron concentraciones consideradas como iniciales ($66.580 \text{ mg/kg}^{-1}$), en el segundo muestreo, dado a los 60 días, las concentraciones disminuyeron considerablemente (0.6 mg/kg^{-1}). Esto implica que se logró una degradación de los HTP estudiados. Por lo tanto, indican que los factores ambientales estudiados (aireación, humedad, agua y nutrientes) favorecieron la degradación como biostimuladores para la mejor actividad de los microorganismos.

Los análisis realizados a inicio y después de la investigación se encuentran por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas (MINAM, 2017).

Los valores límites establecidos en los ECAs para suelos de uso agrícola son los siguientes (MINAM, 2017).

- (1) Hidrocarburos de Petróleo de Fracción F1 o Fracción Ligera: 200 mg
- (2) Hidrocarburos de Petróleo de Fracción F2 o Fracción Media: 1200 mg
- (3) Hidrocarburos de Petróleo de Fracción F3 o Fracción Pesada: 3000 mg

4.3. Eficiencia de remoción

Como puede observarse en la Tabla 10, las eficiencias de remoción resultaron satisfactorias, las concentraciones iniciales de HTP disminuyeron en más de un 95% con respecto a lo que se tenía inicialmente (66.6 mg/kg^{-1}).

De acuerdo en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA_suelo) (MINAM, 2017) y considerando los tipos de suelo existentes allí (Suelo agrícola, Suelo residencial y Suelo comercial) para cualquiera de los casos allí presentes, el trabajo experimental los incluye indistintamente. Así mismo, si consideramos el nivel más bajo “Suelo agrícola”, la normativa menciona el valor límite de hidrocarburos de petróleo de fracción F1, o fracción ligera, considerando 200 mg/kg^{-1} . Los resultados muestran concentraciones inferiores al valor límite mínimo para fracción ligera (MINAM, 2017).

Diversos autores reportan resultados similares para hidrocarburos aromáticos policíclicos de interés obteniendo más de 80% de remoción (Corona, 2004). No obstante, concluimos que los factores ambientales, especialmente el contenido de agua es de gran importancia si el objetivo es degradar HTP, HAP, así como lo mencionan estudios realizados anteriormente (Dragun, 2001), por lo tanto, a mayor contenido de agua mayores eficiencias de remoción. Para el caso del experimento con contenido de agua 15% constante, se obtuvieron los mismos resultados de degradación. Con base en lo demostrado experimentalmente, el agua es un factor fundamental para la degradación de los hidrocarburos. Sin embargo, el agua puede afectar la actividad de los microorganismos y la atenuación y biorremediación de los HTP, por influencia de la aireación, difusión del contaminante y la movilidad de los microorganismos, factores cruciales para la remoción (Dragun, 2001).

El control de los factores ambientales añadidos al suelo es la causa principal para la degradación de los HTP.

4.4. Cuenta bacteriana

Los valores obtenidos de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) fueron realizadas por dos diluciones, mediante la técnica de cuenta en placa. En la primera dilución se halló entre 28-250 UFC/gr, esta se realizó al inicio del experimento sin afectar al suelo con HTP. Seguidamente se realizó una segunda dilución a los 60 días, obteniendo 18 UFC/gr, en esta hubo una disminución de la población microbiana en todos los cajones experimentales, lo que confirma una menor respiración microbiana. Sin embargo, esta disminución no altero las concentraciones de hidrocarburos, las eficiencias de remoción obtenidas fueron las esperadas.

V. CONCLUSIONES

- 5.1. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo son fundamentales si se desea conocer si la atenuación natural y la biorremediación son viables como técnicas de recuperación de suelos afectados con HTP.
- 5.2. Mediante las pruebas experimentales, se obtuvo 99.09% de degradación de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP).
- 5.3. El factor importante que favoreció la degradación de los microorganismos en un periodo corto fue el contenido de agua.
- 5.4. Mediante el desarrollo del experimento, se halló que los cajones experimentales con nutrientes y sin nutrientes, y solo con 15% de contenido de H₂O, presentaron igual eficiencia de remoción.
- 5.5. Las concentraciones de HTP no evidenciaron toxicidad en ninguno de los cajones experimentales, esto se evidenció con las concentraciones iniciales del experimento y finalmente con sus resultados iguales (0.6 mg/kg⁻¹).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acevedo Sandoval, Ofilio A. (2000) Informe: *Degradación y Contaminación de los suelos del estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Autoridad Regional Ambiental - ARA. (2016). *Informe N° -2016-GR Amazonas/ARAAMAZONAS/DEGAMJRR*.

Badia, D. (1992). *Suelos Afectados por Sales* Unidat d'Ecología (UAB), Bellaterra. 12 ed. Barcelona, Es Recuperado de: <http://publicacions.rec.cat/repository/pdf/00000112%5c00000090.pdf>.

Chavarría, F. (2011). *Edafología I*. Caldas, Colombia.

Comunidad de Madrid, 2002, Dirección General de industria, Energía y Minas. *El petróleo, el recorrido de la energía*, Madrid, 1ra ed.

Corona, L. (2004). *“Atenuación natural de suelos contaminados con hidrocarburos”* (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Dragun,J., 2001. *Soil y Sediment Contamination*. Volume 10/Issue 1.CRC PRESS,USA.633-658

El Peruano (2015). *Resolución de consejo directivo N° 044-2015-OEFA/CD. Resolución directoral N° 844-2015-OEFA/DFSAI*. Obtenido de:

Flores, A. (1991). *Suelos Salinos y sólidos*. Instituto Superior de Ciencias Agrarias de la Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos Y riego. La Habana

Flores, Tollas, Telles. (2004). *Medidas de mitigación para suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre*. Publicación técnica N°257, Sanfandila, México.

Garrido, S. (1993). *Interpretación de Análisis de Suelo*.

Gondim Porto, Clarisa. (2013). “*Análisis microbiológico de un suelo agrícola mediterráneo tras la aplicación de lodos de depuradora urbana*”. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Guerreo, J. (2013) “*Recuperación de suelos degradados por erosión, contaminación, salinización y acidez*”. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía. Lima.PE. 138-154P

Intagri. (2015). *La capacidad de intercambio catiónico del suelo*. Recuperado de: <http://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo#sthash.MraeCVEl.dpus>

MINAM. (2017). *Estandares de calidad ambiental para el suelo*. D.S. N° 011-2017-MINAM. Lima. Lima.

Narro, E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México

OEFA. (2016a). *Resolución directorial N° 012-2016-OEFA/DS*. Obtenido de: www.oefa.gob.pe.

OSINERGMIN, 2005, *La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: el Segmento Upstream del Sector Petrolero*, Oficina de Estudios Económicos, Documento de Trabajo 8, enero 2005, 188p.

Pascucci. (2011). *Soil Contamination. InTech*. 168 p

Ponce, D. S. (2014). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Concepción - Chile.

Salazar, J. (2016). *Sociedad Peruana De Derecho Ambiental - Spda: Actualidad Ambiental*.

Santos J, JE. (2007). “*Caracterización de suelos contaminados con hidrocarburos en una empresa minera y desarrollo de un método biológico para su remediación*” (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, ciudad de México.

Sifuentes, E. M. (2014). *“Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo”*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

The Internacional Tanker Owners Pollution Federación Limited, (1997). Oil Spills From Tankers. Data Base. Internet home page://www.cutter.com/osir/biglist.htm

Ward OP, Singh A. 2004. *Evaluation of current soil bioremediation technologies*. In: Singh A, and Ward OP (eds). Applied bioremediation and phytoremediation. Soil biology series, vol 1 Springer, Berlin Heidelberg New York. XIX, 281 p. 19 illus.

Zavaleta G.A., 1992. *Edafología. El Suelo en Relación con la Producción* Edt. CONCYTEC. Congreso Nacional de la Ciencia y Tecnología. Lima – Perú. 223 pág.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo en estudio con concentraciones escasas de HTP



INFORME DE ENSAYO N° 126507- 2018

RAZÓN SOCIAL : ROCIO JARA VILCA
DOMICILIO LEGAL : AV. PAKAMUROS NRO. 169B SEC. PUEBLO LIBRE - JAÉN - CAJAMARCA - JAÉN
SOLICITADO POR : ROCIO JARA VILCA
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : CHACHAPOYAS
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2018-11-16
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2018-11-16
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) (C ₆ -C ₁₀)	EPA 8015 C. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. Rev 3 / February 2007.	0.603	mg/kg
Volatile Organic Compounds (VOC's) Trichloroethylene, Tetrachloroethylene	Method 8260D - Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) Revision 4, June 2018.	---	ug/kg

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de muestreo	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12		
Hora de inicio de muestreo (h)	10:30	13:30	16:30	18:30		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	P1-HTP	P2-HTP	P3-HTP	P4-HTP		
Código del Laboratorio	18111250	18111251	18111252	18111253		
Ensayo	Unidad	Resultados				
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	14.766	9.822	3.966	3.980	
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de muestreo	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12		
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	13:00	16:00	18:00		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	P1-CDV	P2-CDV	P3-CDV	P4-CDV		
Código del Laboratorio	18111254	18111255	18111256	18111257		
Ensayo	L.D.M.	Unidad	Resultados			
VOC's						
Trichloroethylene (Tricloroetileno)	0.1	ug/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tetrachloroethylene (Tetracloroetileno)	11.8	ug/kg	<11.8	<11.8	<11.8	<11.8
VOC's						
Trichloroethylene (Tricloroetileno)	0.0001	mg/kg	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tetrachloroethylene (Tetracloroetileno)	0.01	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportado en base seca.

Lima, 28 de Noviembre del 2018.


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

Página 1 de 1

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW) -APHA-AWWA-WEF 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials - HTP: Oficina Técnica Perú. OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción total o parcial del presente documento o muestra que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Solo se validó para las muestras referidas en el presente informe. Los resultados serán conservados de acuerdo al período de validez del patrimonio analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Cod: FID1
Version: 08
E-18-10/2018

AV. Naciones Unidas N°1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511 425 7227 / 425 6885 RPC; 994976442 Nextel, 98-109*1133
Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com

Anexo 2. Análisis de la concentración de HTP a cero días



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829**



**INFORME DE ENSAYO Nº 132312 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL	: FERNANDEZ VALQUI ROSA LUZ
DOMICILIO LEGAL	: JR. LIMA # 216 DISTRITO BAGUA, PROVINCIA BAGUA, REGIÓN AMAZONAS
SOLICITADO POR	: FERNANDEZ VALQUI ROSA LUZ
REFERENCIA	: TESIS
PROCEDENCIA	: BAGUA CHICA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-04-15
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2019-04-22 AL 2019-04-29
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2019-04-13
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
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	EPA 8015 C. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography, Rev 3 / February 2007.	0.603	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Mátriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	P1-TPH (C6-C10)	
Código del Laboratorio	19041262	
Ensayo	Unidad	Resultados
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	66.580

Resultados de Suelo reportado en base seca.

17025
Lima, 29 de Abril del 2019.


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

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

El Método Indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA ni el Organismo Internacional de Acreditación - IAS.
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

Anexo 3. Análisis de las características físicas y químicas del suelo a cero días



"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CELJA DE SELVA"
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y AGUAS



ANÁLISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

1. DATOS

Solicitante : ROSA LUZ FERNANDEZ VALQUI

Departamento : AMAZONAS

Provincia : CONDORCANQUI

Distrito : NIEVA

Anexo : NUEVA ESPERANZA

N. Predio :

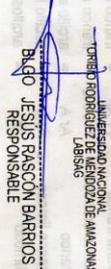
Cod./N° Muestra :

Fecha : 10/06/19

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO

Lab	Número de Muestra	pH (1-1)	CE mS/m	P ppm	K %	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase textural	Cationes Cambiadas					Suma de Bases %			
									Arenal %	Limo %	Arcilla %		Ca ⁺² med/100g	Mg ⁺² K ⁺ med/100g	Na ⁺ med/100g	Al ⁺³ + H ⁺ med/100g	Suma de Sat. %				
1001	NUEVA ESPERANZA	7.00	0.03	1.58	69.92	3.14	5.42	0.27	82.0	8.0	10.0	A.Ft.	8.07	6.81	0.99	0.10	0.17	0.00	8.07	8.07	10.0

A = Arena A.Ft. = Arena Franca Fr.A. = Franco Arenoso Fr.L. = Franco Limoso L = Limoso Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso Ar.A. = Arcillo Arenoso Ar.L. = Arcillo Limoso Ar. = Arcilloso


B. JESUS RASCÓN BARRIOS
 RESPONSABLE

Anexo 4. Análisis de la concentración de HTP a 60 días



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829**



**INFORME DE ENSAYO N° 136839 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

<p>RAZÓN SOCIAL</p> <p>DOMICILIO LEGAL</p> <p>SOLICITADO POR</p> <p>REFERENCIA</p> <p>PROCEDENCIA</p> <p>FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA</p> <p>FECHA(S) DE ANÁLISIS</p> <p>FECHA(S) DE MUESTREO</p> <p>MUESTREADO POR</p> <p>CONDICIÓN DE LA MUESTRA</p>	<p>: FERNÁNDEZ VALQUI ROSA LUZ</p> <p>: JR. LIMA N°216- BAGUA - BAGUA</p> <p>: FERNÁNDEZ VALQUI ROSA LUZ</p> <p>: TESIS</p> <p>: BAGUA CHICA - AMAZONAS</p> <p>: 2019-09-29</p> <p>: 2019-10-02 AL 2019-10-07</p> <p>: 2019-09-25</p> <p>: EL CLIENTE</p> <p>: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.</p>
--	---

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	EPA 8015 C. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. Rev 3 / February 2007.	0.603	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.



Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.O.P. N° 648
Aseor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA ni el Organismo Internacional de Acreditación - IAS.

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 2

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



**INFORME DE ENSAYO N° 136839 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25
Hora de inicio de muestreo (h)	15:29	15:37	15:43	15:50
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	C1:1	C1:2	C1:3	C1:4
Código del Laboratorio	19093052	19093053	19093054	19093055
Ensayo	Unidad	Resultados		
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	<0.603	<0.603	<0.603
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25
Hora de inicio de muestreo (h)	15:59	16:03	16:12	16:19
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	C1:5	C1:6	C1:7	C2:1
Código del Laboratorio	19093056	19093057	19093058	19093059
Ensayo	Unidad	Resultados		
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	<0.603	<0.603	<0.603
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25
Hora de inicio de muestreo (h)	16:24	16:28	16:33	16:38
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	C2:2	C2:3	C2:4	C2:5
Código del Laboratorio	19093060	19093061	19093062	19093063
Ensayo	Unidad	Resultados		
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	<0.603	<0.603	<0.603
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25	2019-09-25
Hora de inicio de muestreo (h)	16:42	16:47	16:47	16:47
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	C2:6	C2:7	C2:7	C2:7
Código del Laboratorio	19093064	19093065	19093065	19093065
Ensayo	Unidad	Resultados		
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH): FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS F1 (C ₆ -C ₁₀)	mg/kg	<0.603	<0.603	<0.603

Resultados de Suelo reportados en base seca.

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

Lima, 11 de Octubre del 2019.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA ni el Organismo Internacional de Acreditación IAS.

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

BSERVACIONES: • 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 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 ueden 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 • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Anexo 5. Análisis de las características físicas y químicas del suelo con compost a 60 días



LABISAG



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

INFORME DE ENSAYO N° 1558

**Código:
CCFG - 036**

Version: 01

1. DATOS
Solicitante ROSA LUZ FERNANDEZ VALQUI
Departamento AMAZONAS
Provincia BAGUA
Distrito BAGUA

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN

Lab	Numero de Muestra Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ⁺ ppm	K	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase textural	C/C	Cationes Cambiables					Suma de Cationes Bases	Suma de Sal. De Bases	%
									Arena	Limo	Arcilla			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
1558	SUELO MAS COMPOST	6.98	0.80	21.30	1037.88	5.60	9.65	0.48	84.0	8.0	8.0	A-F-	29.80	20.86	4.00	2.52	0.59	0.00	27.96	27.96	94

A = Arena ; A.F. = Arena Franca ; F.A.A. = Franco Arenoso ; F. = Franco ; F.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; F.A.A. = Franco Arcillo Arenoso ; F.A.L. = Franco Arcillo Limoso ; A.A. = Arcillo Arenoso ; A.L. = Arcillo Limoso ; A. = Arcilloso

Nota: Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.
 Los resultados presentados son válidos únicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG.
 Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
LABISAG**

BLGO JESUS RASCON BARRIOS
RESPONSABLE

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
LABISAG**

Ing. Eider Chichina Vela
RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS LABISAG

Recibi Conforme:

Nombre:	Hq o rubricado:
DNI:	Fecha y Hora:
	Firma de Conformidad

Calle Higuer Lirio N° 342-349-356 Calle Universitaria N° 394 - Chachapoyas Amazonas Peru
 labisag@unm.edu.pe / labisag@unm.edu.pe

Anexo 6. Análisis de las características físicas y químicas del suelo con HTP a 60 días

				Código: CCFG - 036	Versión: 01																	
INFORME DE ENSAYO Nº 1559																						
1. DATOS																						
Solicitante		ROSA LUZ FERNANDEZ VALQUI																				
Departamento		AMAZONAS																				
Provincia		BAGUA																				
Distrito		BAGUA																				
2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN																						
1559	SUELO CON HTP	5.35	0.09	7.74	132.05	2.22	3.83	0.19	88.0	6.0	6.0	6.0	A.F.T.	11.20	6.28	1.44	0.16	0.14	0.09	8.10	8.01	72
Lab	Número de Muestra	pH (1:1)	C.E (1:1) ds/m	P ppm	K ppm	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	Cationes Cambiables		Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases				
	Muestra (1:1)								Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca ²⁺ Mg ²⁺ med/100g	K ⁺ Na ⁺ Al ³⁺ + H ⁺								

A = Arena A.F.T. = Franco Arenoso . Fr. = Franco . Fr.L. = Franco Limoso . L = Limoso . Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso . Fr.Ar. = Franco Arcilloso.
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso . Ar.A. = Arcillo Arenoso . Ar.L. = Arcillo Limoso . Ar. = Arcilloso

Nota: Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.
 Los resultados presentados son válidos únicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG.
 Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABISAG

RESPONSABLE DE LABISAG
BLGO. JESUS RASCON BARRIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN SUELOS Y AGUAS
 LABISAG

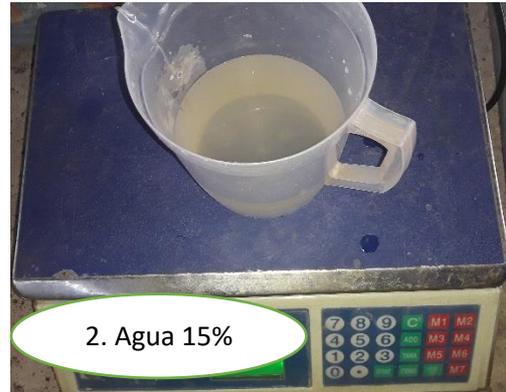
RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS LABISAG
Ing. Eider Guillermo Vela

Recibi Conforme: _____
 Nombre: _____
 DNI: _____
 Fecha y Hora: _____

Firma de Conformidad _____

Calle Higien Uno N° 342-350-356 - Calle Universitaria N° 344 - Chachapoyas - Amazonas - Perú
 labisag@unim.edu.pe / labisag@indes.ces.edu.pe

Anexo 7. Materiales utilizados para la atenuación natural y biorremediación del suelo contaminado



Anexo 8. Cultivo de bacterias en laboratorio



Anexo 9. Homogenización del suelo contaminado con HTP



Anexo 10. Materiales utilizados para la atenuación natural y biorremediación del suelo contaminado



Anexo 11. Agregando 15% de agua



Anexo 12. Toma de muestras para sus respectivos análisis

