

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DEL MICROCOSMO
PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE LOS LODOS
RESIDUALES COMO BIORREMEDIADORES DE SUELOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Victor Manuel Vergaray Ruiz

Asesor:

Mg. Margeo Javier Chúman López

<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Elifio Gustavo Castillo Gomero	07594283
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Denisse Milagros Alva Mendoza	45535817
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Iselli Josylin Murga Gonzalez	44362724
	Nombre y Apellidos	N° DNI

DEDICATORIA

La presente tesis esta dedica a mis padres, Victor Isaac Vergaray Osorio, y Carmen Rosa Ruiz Montesinos, quienes me han permitido haber llegado hasta este momento importante de mi formación profesional, y por formar a la persona que soy en la actualidad, además, de ser las personas que me dan su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mi abuelo Daniel Ruiz Arana , que desde el cielo me cuida y me guía por el camino correcto.

Y a mis docentes y compañeros, por el acompañamiento y conocimientos proporcionados en el periodo de mi profesionalización.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, a Dios, por darme la vida, y

por guiarme en los momentos difíciles.

A mi padre por darme fuerza y tranquilidad en

todo momento, por ayudarme a iniciar este

camino profesional y enseñarme

que existe solución para todo.

A mi madre, por estar siempre conmigo, y por

demostrarme a luchar contra la adversidad desde

pequeño.

A mi abuelo, por enseñarme desde niño a trabajar

para conseguir nuestros objetivos, y por qué sé

que desde el cielo está orgulloso de mí.

A mi amigo y asesor por brindarme sus

conocimientos para el desarrollo

de la tesis, y a mis docentes de la universidad, por

guiarnos siempre

en el mejor camino profesional, y por impartir sus

conocimientos y valores.

A mi familia, por enseñarme cada uno algo nuevo.

Tabla de Contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	16
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Realidad Problemática	19
1.2. Bases Teóricas	36
1.2.1. Microcosmo terrestre.....	36
1.2.2. Lodo residual	38
1.2.3. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos	48
1.3. Formulación del Problema.....	67
1.3.1. Problema general	67
1.3.2. Problemas específicos.....	67
1.4. Justificación	68

1.5. Objetivos	69
1.5.1. Objetivo general	69
1.5.2. Objetivos específicos	69
1.6. Hipótesis	70
1.6.1. Hipótesis general	70
1.6.2. Hipótesis específicos	70
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	71
2.1. Tipo de Investigación.....	71
2.1.1. Diseño de investigación	71
2.2. Población y Muestra	72
2.2.1. Población.....	72
2.2.2. Muestra	73
2.3. Técnica e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos	73
2.3.1. Materiales.....	73
2.3.2. Instrumentos.....	75
2.3.3. Métodos.....	77
2.4. Procedimiento	82
2.4.1. Recolección de lodo residual y suelo.....	82
2.4.2. Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo	83
2.4.3. Acondicionamiento del microcosmo e instalaciones de tratamientos	86

2.4.4. Monitoreo de los tratamientos de los microcosmos.....	89
2.4.5. Determinación de parámetros	94
2.4.6. Análisis de datos	104
2.5 Aspectos Éticos.....	104
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	105
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	126
4.1. Discusión.....	126
4.2. Conclusiones	131
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXO.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del Lodo Residual	39
Tabla 2 Características Físicas del Lodo Residual.....	44
Tabla 3 Características Físicas del Lodo Residual - 02	45
Tabla 4 Características Químicas del Lodo Residual	46
Tabla 5 Características Biológicas del Lodo Residual.....	46
Tabla 6 Derivados del Petróleo	64
Tabla 7 Propiedades del Diésel	65
Tabla 8 Diseño Experimental de Serie Cronológico Puro	72
Tabla 9 Materiales Usados para la Experimentación.....	73
Tabla 10 Materiales Usados para la Experimentación – 02.....	74
Tabla 11 Insumos Usados en la Experimentación	74
Tabla 12 Equipos Usados para la Experimentación.....	75
Tabla 13 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos.....	75
Tabla 14 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos – 02.....	76
Tabla 15 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos – 03.....	77
Tabla 16 Metodología Aprobada por INACAL – Laboratorio CERPER	78
Tabla 17 Metodología Aprobada por INACAL – Laboratorio CERPER – 02	79
Tabla 18 Metodología Aprobada por INACAL – Universidad Agraria de la Molina.....	80
Tabla 19 Manejo de Unidades Experimentales.....	89
Tabla 20 Periodo de Muestreo en Pretratamiento	91

Tabla 21 Periodo de Muestreo en Pretratamiento – 02.....	91
Tabla 22 Periodo de Muestreo Postratamiento	93
Tabla 23 Variación de Coliformes Termotolerantes en Lodo Residual.....	105
Tabla 24 Caracterización del Lodo Residual Higienizado.....	105
Tabla 25 Caracterización del Lodo Residual Higienizado – 02.....	106
Tabla 26 Variación de la Concentración de Hidrocarburos	107
Tabla 27 Eficacia de Degradación de Hidrocarburos	108
Tabla 28 Eficacia de Degradación de Hidrocarburos – 02	108
Tabla 29 Variación de los Parámetros a lo Largo de los Tratamientos	109
Tabla 30 Variación de los Metales Pesados a lo Largo de los Tratamientos.....	110
Tabla 31 Variación de los Metales Pesados a lo Largo de los Tratamiento – 02	111
Tabla 32 Variación del Potencial de Hidrógeno	112
Tabla 33 Variación del Potencial de Hidrógeno – 02	112
Tabla 34 Variación de la Conductividad Eléctrica	113
Tabla 35 Variación de la Conductividad Eléctrica – 02	113
Tabla 36 Variación del Nitrógeno Total	114
Tabla 37 Variación del Carbono Orgánico Total.....	116
Tabla 38 Variación de la Temperatura.....	117
Tabla 39 Variación de la Temperatura – 02.....	118
Tabla 40 Variación de la Relación C: N	119
Tabla 41 Textura del Suelo	120
Tabla 42 Variación de los Metales Pesados.....	121
Tabla 43 Variación de las Pseudomonas sp.	122

Tabla 44 Data para ANOVA.....	124
Tabla 45 Fórmulas de Data de ANOVA.....	124
Tabla 46 Análisis de Varianza	125
Tabla 47 Matriz Operacional de la Variable Dependiente.....	153
Tabla 48 Matriz Operacional de la Variable Independiente	154
Tabla 49 Variación del Potencial de Hidrógeno – Primero Diez Días	199
Tabla 50 Variación del Potencial de Hidrógeno – Segundo Diez Días	199
Tabla 51 Variación del Potencial de Hidrógeno – Terceros Diez Días	199
Tabla 52 Variación del Potencial de Hidrógeno – Cuarto Diez Días	200
Tabla 53 Variación del Potencial de Hidrógeno – Quinto Diez Días	200
Tabla 54 Variación del Potencial de Hidrógeno – Sexto Diez Días	200
Tabla 55 Variación del Potencial de Hidrógeno – Séptimo Diez Días.....	201
Tabla 56 Variación del Potencial de Hidrógeno – Octavo Diez Días.....	201
Tabla 57 Variación del Potencial de Hidrógeno – Noveno Diez Días.....	201
Tabla 58 Variación del Potencial de Hidrógeno – Décimo Diez Días.....	202
Tabla 59 Variación de la Conductividad Eléctrica – Primero Diez Días.....	203
Tabla 60 Variación de la Conductividad Eléctrica – Segundo Diez Días	203
Tabla 61 Variación de la Conductividad Eléctrica – Tercero Diez Días	203
Tabla 62 Variación de la Conductividad Eléctrica – Cuarto Diez Días.....	204
Tabla 63 Variación de la Conductividad Eléctrica – Quinto Diez Días	204
Tabla 64 Variación de la Conductividad Eléctrica – Sexto Diez Días	204
Tabla 65 Variación de la Conductividad Eléctrica – Séptimo Diez Días	205
Tabla 66 Variación de la Conductividad Eléctrica – Octavo Diez Días	205

Tabla 67	Variación de la Conductividad Eléctrica – Noveno Diez Días	205
Tabla 68	Variación de la Conductividad Eléctrica – Décimo Diez Días	206
Tabla 69	Variación de la Temperatura – Primero Diez Días	207
Tabla 70	Variación de la Temperatura – Segundo Diez Días	207
Tabla 71	Variación de la Temperatura – Tercero Diez Días	207
Tabla 72	Variación de la Temperatura – Cuarto Diez Días	208
Tabla 73	Variación de la Temperatura – Quinto Diez Días	208
Tabla 74	Variación de la Temperatura – Sexto Diez Días	208
Tabla 75	Variación de la Temperatura – Séptimo Diez Días	209
Tabla 76	Variación de la Temperatura – Octavo Diez Días	209
Tabla 77	Variación de la Temperatura – Noveno Diez Días	209
Tabla 78	Variación de la Temperatura – Décimo Diez Días	210
Tabla 79	Presupuesto de Materiales e Insumos	211
Tabla 80	Presupuesto de Equipos y Análisis de Laboratorio	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Procesos de una PTARD.....	41
Figura 2 Tratamiento Secundario	42
Figura 3 Esquema de una PTARD.....	43
Figura 4 Factores Formadores del Suelo	51
Figura 5 Triángulo de Textura del Suelo	52
Figura 6 Perfil del Suelo	54
Figura 7 Fases del Crecimiento Microbiano.....	57
Figura 8 Biodegradación de Hidrocarburos Alifáticos	59
Figura 9 Formación del Catecol en la Degradación de Hidrocarburos Aromáticos	60
Figura 10 Formación del Protocahuete en la Degradación de Hidrocarburos Aromáticos	61
Figura 11 Clasificación de Hidrocarburos	67
Figura 12 Cuarteo del Suelo sin Contaminar.....	85
Figura 13 Contaminación Artificial del Suelo.....	86
Figura 14 Instalación de Tratamientos de Microcosmos	87
Figura 15 Aireación Constante	88
Figura 16 Aireación Mecánica.....	88
Figura 17 Patrón de Muestreo.....	90
Figura 18 Variación del Nitrógeno Total.....	114
Figura 19 Variación del Carbono Orgánico Total	116

Figura 20	Variación de la Relación C: N.....	119
Figura 21	Variación de las Pseudomonas sp.	123
Figura 22	Diagrama de Procedimiento Experimental.....	155
Figura 23	Suelo Nativo Recolectado	156
Figura 24	Tamizado del Suelo	156
Figura 25	Separación de los Sólidos del Suelo.....	156
Figura 26	Suelo Establecido en Microcosmos.....	156
Figura 27	PTARD-Santa Clara	158
Figura 28	Acumulación del Lodo Residual	158
Figura 29	Contenedor del Lodo Residual en PTARD	158
Figura 30	Lodo Residual Recolectado.....	158
Figura 31	Dosificación del Lodo y Cal.....	159
Figura 32	Mezcla del Lodo Residual y Cal	159
Figura 33	Reposo del lodo residual	159
Figura 34	Exposición Térmica del Lodo Residual	159
Figura 35	Segundo Cuarteo del Suelo	160
Figura 36	Contaminación Artificial del Suelo.....	160
Figura 37	Homogenización del Segundo Cuarteo del Suelo Contaminado.....	160
Figura 38	Diferencia de Color del Suelo Contaminado.....	160
Figura 39	Suelo Contaminado en los Microcosmos	161
Figura 40	Muestras para Análisis de Hidrocarburos	161
Figura 41	Lodo Residual Estabilizado para el Microcosmo.....	161
Figura 42	Mezcla del Lodo Residual con el Suelo Contaminado.....	161

Figura 43 Potencial de Hidrógeno del Suelo Nativo	168
Figura 44 Conductividad Eléctrica del Suelo Nativo	168
Figura 45 Temperatura del Suelo Nativo.....	168
Figura 46 Potencial de Hidrógeno del Lodo Residual Higienizado	176
Figura 47 Conductividad Eléctrica del Lodo Residual Higienizado	176
Figura 48 Temperatura del Lodo Residual Higienizado.....	176

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Formación del Suelo	49
Ecuación 2 Degradación de Alcanos	58
Ecuación 3 Determinación de la Cantidad de Diésel por Suelo	84
Ecuación 4 Determinación de Cantidad de Diésel por el Segundo Cuarteto.....	85
Ecuación 5 Constante de Celda.....	95
Ecuación 6 Determinación del Nitrógeno Total	96
Ecuación 7 Determinación del Carbono Orgánico Total.....	97
Ecuación 8 Relación Materia Orgánica y Carbono Orgánico.....	98
Ecuación 9 Determinación de Materia Orgánica	99
Ecuación 10 Concentración de Muestras en Espectrómetro.....	102
Ecuación 11 Porcentaje de Remoción de Hidrocarburos.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz Operacional de la Variable Dependiente	153
Anexo N° 2. Matriz Operacional de la Variable Independiente.....	154
Anexo N° 3. Diagrama de Procedimiento Experimental.....	155
Anexo N° 4. Manejo de Suelo Nativo	156
Anexo N° 5. Manejo del Lodo Residual.....	157
Anexo N° 6. Acondicionamiento de los Microcosmos	160
Anexo N° 7. Informes de Ensayo de Laboratorio – CERPER	162
Anexo N° 8. Registro Diario del Potencial de Hidrógeno en los Tratamientos de los Microcosmos.....	199
Anexo N° 9. Registro Diario de la Conductividad Eléctrica en los Tratamientos de los Microcosmos	203
Anexo N° 10. Registro Diario de la Temperatura en los Tratamientos de los Microcosmos	207
Anexo N° 11. Presupuestario del Desarrollo Experimental	211

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo aplicar la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos. Para ello, se realizó una contaminación artificial con Diésel en un suelo franco arenoso, a su vez, se llevó a cabo la higienización del lodo residual deshidratado. Se establece tres unidades de microcosmos, cada uno con 50 kg de suelo contaminado con una concentración de 30 000 mg Diésel/kg de suelo; el primer microcosmo es el microcosmo control (100: 000) conformado por 100% suelo contaminado, y ningún agregado de lodo residual, el microcosmo M1 que presenta la proporción de suelo contaminado: lodo residual de 70:30, y el microcosmo M2 con la proporción 50: 50. Los 100 días de análisis a los microcosmos evidencian que la aplicación del lodo residual en los suelos contaminados generaron el 95.01% de biorremediación en el microcosmo M2, y 88.31% de biorremediación en el microcosmo M1, a su vez, la aplicación del lodo residual mejoró parámetros como el potencial de hidrógeno, la conductividad eléctrica, relación C: N, materia orgánica, y microorganismos nativos del suelo; por otro lado, la aplicación del lodo residual no generó mayor variación en los metales pesados, y textura del suelo. Por lo tanto, se concluye que la aplicación del lodo residual en suelos contaminados, genera un elevado porcentaje de biorremediación de hidrocarburos, de las cuales pueden ser identificadas implementado la técnica del microcosmo para su control de parámetros y observación general.

Palabras clave: hidrocarburo, lodo residual, microcosmo, suelo contaminado.

ABSTRACT

The objective of this research is to apply the microcosm technique to evaluate the capacity of residual sludge as bioremediators of soils contaminated with hydrocarbons. For this, an artificial contamination with Diesel was carried out in a sandy loam soil, in turn, the sanitization of the dehydrated residual sludge was carried out. Three microcosm units are established, each with 50 kg of contaminated soil with a concentration of 30,000 mg Diesel/kg of soil; the first microcosm is the control microcosm (100:000) made up of 100% contaminated soil, and no residual sludge aggregate, the M1 microcosm that presents the proportion of contaminated soil: residual sludge of 70:30, and the M2 microcosm with the proportion 50: 50. The 100 days of analysis to the microcosms show that the application of the residual sludge in the contaminated soils generated 95.01% of bioremediation in the microcosm M2, and 88.31% of bioremediation in the microcosm M1, in turn, the residual sludge application improved parameters such as hydrogen potential, electrical conductivity, C:N ratio, organic matter, and native soil microorganisms; on the other hand, the application of residual sludge will not increase the variation in heavy metals, and soil texture. Therefore, it is concluded that the application of residual sludge in contaminated soils generates a high percentage of hydrocarbon bioremediation, of which the microcosm technique can be identified for its control of parameters and general observation.

Key words: petroleum hydrocarbon, residual sludge, microcosm, contaminated soil.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Hoy en día, uno de los problemas ambientales con mayor frecuencia y con gran significancia es la contaminación de nuestros ecosistemas terrestres por la introducción de hidrocarburos en el suelo, especialmente por el petróleo. Serrano et al. (2013) señalan que la extracción de hidrocarburos es necesaria para la población, ya que se requiere productos derivados del petróleo para el desarrollo de las actividades económicas de la sociedad, lo que conlleva a ocupar superficies considerables de tierra para las instalaciones de redes de extracción de petróleo. Para Cavazos-Arroyo et al. (2014) refieren que los daños ambientales en el suelo suceden iniciando las actividades de explotación de los pozos petroleros hasta el acontecimiento de siniestros, además, estos sucesos se pueden explicar en cualquier tipo de ecosistema, tanto como acuático o terrestre, lo que genera grandes afectaciones ecológicas conllevando a detrimentos nocivos en la flora, y fauna del medio donde se desarrolla. La flora y fauna son indispensable para el progreso y supervivencia del ser humano, y el desbaratamiento del suelo por presencia de hidrocarburos genera la inutilización de los mismos.

Como lo menciona Cavazos-Arroyo et al. (2014) la contaminación del suelo por la incorporación de hidrocarburos afecta su disposición de nutrientes, por consiguiente, influye en la fertilidad del suelo alterando el crecimiento de todas las plantas, y perturbando el desarrollo, tanto como, la sobrevivencia de los animales que se alimentan de ellas. Así, la extracción, transporte o la ausencia de cultura de seguridad en la actividad de extracción de petróleo genera la filtración de crudo en toda la superficie, modificando las propiedades del suelo de manera negativa

sobrepasando en su mayoría los estándares de calidad ambiental; en ese sentido, la disposición de hidrocarburos en la superficie terrestre conlleva a una crisis de seguridad alimentaria, y de impactos ambientales negativos considerables.

Los indicadores que reflejan la realidad de estos eventos de la contaminación de suelos son los registros de derrames petroleros, por ello, León y Zúñiga (2020) señala que desde el año 2000 hasta el año 2019 se registraron 474 derrames en los lotes petroleros ubicados en la Amazonia peruana, siendo los lotes 8 y 192 los que suman 344 derrames, y que la principal causa de estos derrames son factores de corrosión en tuberías y fallas operativas de la extracción del petróleo; un suceso clave y trágico como lo indica Meier (2014) fue lo ocurrido en la localidad de Cuninico– Loreto, donde en el año dos mil catorce ocurrió una fuga en las tuberías de 10 mil barriles de petróleo, convirtiendo dos hectáreas de superficies en áreas contaminadas por hidrocarburos. Ante estas situaciones, muchas poblaciones afectadas solicitan acciones rápidas para restaurar las zonas afectadas, ya que los impactos serán de manera directa en la salud de la población, y en los componentes medioambientales.

Las técnicas de restauración de suelos contaminados, de acuerdo a Volke y Velasco (2002) se clasifica en 3 principios de remediación según la tecnología a implementar, el primer principio es el tratamiento biológico, la cual se encarga de transformar y remover los contaminantes utilizando las actividades metabólicas de algunos organismos degradadores; el segundo principio corresponde al tratamiento físico y químico, la cual utiliza los atributos físicos y los atributos químicos de los contaminantes y del ecosistema contaminado para deshacer, dividir o controlar la contaminación; y el tercer principio se fundamenta en el tratamiento térmico, en la cual mediante la exposición del área contaminada a grandes temperaturas se pretende incinerar, descomponer e inmovilizar a los contaminantes. Unas de las problemáticas que se exhiben en el desarrollo de los

planes de recuperación del ecosistema terrestre es la de establecer qué tecnología de restauración de suelo utilizar, dado que las técnicas a implementar pueden ser diferentes en base al costo económico de la implementación de la tecnología, el tiempo de restauración del suelo, y el porcentaje de eficacia de recuperación del sustrato tratado.

Una de las últimas aplicaciones, correspondiente al principio de tratamiento biológico, es la plasmada por el empleo del biosólido en el suelo, también conocido como lodo residual, que son el residuo sólido provenientes de las planta de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTARD), la cual, según Martínez-Prado et al. (2011) nos menciona que el lodo residual tiene propiedades de contener elevadas proporciones de nitrógeno inorgánico, materia orgánica y fósforo; siendo parámetros ideales para estimular toda actividad microbiana presente en el suelo.

Un biosólido, según Flores et al. (2010) es el sedimento sólido del tratamiento de aguas domésticas y municipales, que presentan alta concentraciones de minerales y materia orgánica que pueden ser implementados como enmiendas que restablecerán y aumentarán la calidad del suelo. Por otro lado, Martínez-Prado et al. (2011) nos define que los biosólidos, son un residuo biológico del resultado del tratamiento, por las técnicas biológicas, en las aguas domesticas residuales, y que al no ser tratadas adecuadamente generan un alto impacto negativo al medio ambiente y al sistema de salud pública. La implementación del biosólido o lodo residual como una tecnología de remediación de tratamiento biológico, se basa a que es una técnica de aumentación, en la que brinda los nutrientes necesarios para la actividad microbiana, la cual al ser incorporados logra bioestimular la capacidad degradativa de los mismos.

Es necesario establecer las condiciones y parámetros que se modifican conforme a la técnica de restauración ambiental, ante ello, Durán y Ladera (2016) nos describe que en la técnica de bioaumentación se pretende incorporar nutrientes en forma de enmiendas para agilizar la

degradación microbiana de la microbiota presente en el suelo contaminado, para establecer el control del sustrato incorporado, se debe detallar y valorar todas las características del estimulante y del suelo afectado, además, el enfoque se debe realizar en los indicadores químicos como la materia orgánica disponible, nitrógeno, fósforo, humedad, e indicadores biológicos como los Coliformes, de igual manera, en las propiedades del contaminante del suelo. Por ello, incorporar un sustrato al suelo con la finalidad de mejorar sus condiciones naturales, conlleva a establecer un monitoreo constante de las variaciones de sus parámetros, con la intención de identificar que variables presentan mejoras y que variables presentan un deterioro en su concentración.

Ante ello, se aplica la técnica del microcosmo; una técnica desarrollada para evaluar los efectos producidos por los contaminantes al medio ambiente, donde se pueda controlar la gran variabilidad de la naturaleza, y entender el comportamiento y efectos del contaminante, así como su degradación. Como tal, un microcosmo es un modelo de estudio que cumple con recursos y condiciones que puede representar tal cual, a un ecosistema, y de las cuales es de gran utilidad para identificar la degradación de contaminantes en un suelo determinado mediante la aplicación de enmiendas o fertilizantes, así como de diversos métodos de degradación para diversas investigaciones que pueden ser desarrolladas en laboratorio. En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo aplicar la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.

Se realizó la revisión de la literatura científica respecto a nuestras variables de estudios; y metodologías relacionadas con el objetivo del caso, del tal modo, la presente investigación se basa en un exhaustivo análisis de la bibliografía de las investigaciones científica, estos estudios científicos realizados en el ámbito internacional se muestran a continuación:

Álvarez (2007), en su trabajo de investigación desarrollada, aplicó lodo residual para biorremediar los residuos sólidos petrolizados presentes en el suelo, con la intención de bioestimular toda la microbiota autóctona del suelo contaminado, el procedimiento de análisis consistió en desarrollar el tratamiento de 1149 m³ de suelo contaminado con residuos sólidos petrolizados con incorporaciones de lodo residual y proporciones pequeñas de suelo limpio, los cuales serán mezclados homogéneamente de manera continua, para después, generado el nuevo sustrato pasarlo por una humectación y aireación constante, el estudio fue analizado durante un periodo de 180 días, de las cuales, los resultados obtenidos indican que a los 80 días de tratamiento se logró obtener una degradación del 51.82% de la concentración de hidrocarburo totales de petróleo, tras la aplicación del lodo residual, además, el mayor logro se muestra con el 92.71% de remoción de hidrocarburos en el suelo durante el día 110 del análisis, por otro lado, presentó un aumento considerable de los microorganismos biodegradadores, durante los días 30 y 80, con valores del orden de 10⁷. Se concluye que la homogenización del lodo residual en el suelo con residuos petrolizados, bioestimula a los microorganismos endógenos del suelo para poder degradar los residuos orgánicos, y a su vez, mejora en todos los aspectos a la calidad del suelo tratado.

Durán y Ladera (2016), en su artículo científico realizado, aplicó lodo residual para biorremediar los suelos contaminados con pesticidas organoclorados, con la intención implementar una fuente de nutrientes y así bioestimular los microorganismos endógenos del suelo a tratar, el procedimiento de análisis consistió en establecer dos bloques de estudio, cada bloque con tres unidades experimentales, formando así seis microcosmos para la parte experimental, estos microcosmos están conformados por la mezcla de suelo contaminado con organoclorados y lodo residual a proporción de suelo: lodo residual de 100:000, 71:29, y 77:23 respectivamente en cada grupo, se realizó el muestreo para la determinación de las variaciones de los parámetros desde el

día 0 hasta el día 73, de las cuales, los resultados obtenidos indicaron que el suelo sin lodo residual presentó una biorremediación del 25.1%, por otro lado, el microcosmo que contenía lodo residual en 29% en peso, presentó un biorremediación del 84% de organoclorados, a su vez, el microcosmo con lodo residual de 23% en peso obtuvo una biorremediación del 69%. Se concluye que la aplicación del lodo residual en suelos con organoclorados influyen en la capacidad de los microorganismos en alcanzar grandes tasas de biodegradación del mismo, a su vez, logra restaurar y mejorar las condiciones iniciales del suelo.

Gaete (2019), en su trabajo de investigación efectuada, aplicó lodo residual en un suelo contaminado por hidrocarburos, con la intención de comparar y cuantificar el proceso de biorremediación aeróbica, el procedimiento de análisis consistió en establecer 6 microcosmos con sus tratamientos específicos, el primer microcosmos está conformado por solo 6 kg de suelo contaminado sin proceso de aireación, el segundo contenía 6 kg de suelo contaminado con 3 kg de lodo residuales, el tercero contenía 6 kg de suelo contaminado con 3 kg de lodo residuales con proceso de aireación, y el cuarto conformado por 6kg de suelo contaminado con proceso de aireación; el estudio fue analizado durante un periodo de 105 días, de las cuales, los resultados obtenidos indicaron que el microcosmo que presentaba lodo residual con el proceso de aireación logró el 93.9% de biorremediación a los 90 días de tratamiento, a su vez, llegó a obtener un 97.55% de remoción del contaminante en el día 120, por otro lado, el microcosmo que contenía solo lodo residual logró una remediación de 89.6% del hidrocarburo en el día 90. Se concluye que el empleo del lodo residual en suelos contaminado, es una decisión factible, y sencilla que favorece en la reducción del contaminante.

García et al. (2012), en su artículo científico llevado a cabo, analizó la biodegradación de un crudo mediano en suelos utilizando como agente estructurante a la hojarasca, con la intención

de compararlo con suelos de textura arenosa y franco-arcillo-arenosa; el procedimiento consiste en establecer cuatro tratamientos de microcosmos conteniendo suelos de textura arenosa y otras cuatro conteniendo suelos con textura franco-arcillosa-arenosa, adicionando a cada microcosmos un 5% de crudo mediano para su posterior homogenización e introducción de fertilizantes de nitrógeno y fósforo, el estudio fue analizado durante un periodo de 90 días, de las cuales, los resultados obtenidos indicaron que el suelo de textura franco-arcilloso-arenoso presentó un porcentaje de degradación de crudo mediano de 45 % a 31.6% de degradación presentada por el suelo arenoso, además, que la degradación del crudo presentó un aumento en el porcentaje a 49% cuando se añadió el agente estructurante en las muestras. Los suelos con texturas franco-arcillosa-limosa tienden a presentar una mejor capacidad de restauración de calidad del suelo.

Gutiérrez (2017), en su trabajo de investigación desarrollada, implementó lodo residual en suelo contaminado por hidrocarburo de petróleo, con la intención de evaluar la biorremediación aeróbica en un suelo contaminado y de disponer una cantidad alterna de macronutrientes y micronutrientes, la metodología y el procedimiento de análisis consistió en establecer 5 microcosmos como unidades de investigación con distintos escenarios, la primera está constituida por 6 kilogramos de suelo contaminado mezclado con 3 kilogramos de lodo residual junto con fertilizantes, la segunda comprendía solo 6 kilogramos de suelo contaminado junto con 3 kilogramos de lodo residual, el tercero consistía en la mezcla de 6 kilogramos de suelo contaminado con fertilizantes, el cuarto solo comprendida 6 kilogramos de suelo contaminado, y la última unidad de investigación estaba formada por 6 kilogramos de suelo contaminado con 1,44 kilogramos de lodo residual, el estudio fue analizado durante un periodo de 105 días, de las cuales, los resultados obtenidos indicaron que en la muestra que contenía la relación 1:05 de suelo: lodo residual del microcosmo presentó una biorremediación del hidrocarburo en un 99%, y el

microcosmo que contenía 1,44 kg de lodo residual presentó un 97% de biorremediación del contaminante, además, la unidad de suelo, lodo residual y fertilizante, logro una biorremediación del 96%. Se concluye que aplicar lodo residual en suelos contaminados, genera una biorremediación mayor al del 95%, y se considera una nueva fuente de macro y micronutrientes para los microorganismos del suelo.

Martínez-Prado et al. (2011), en su artículo científico realizado, aplicó lodo residual para biorremediar suelos contaminados con hidrocarburos, con la intención de establecer una fuente alterna de nutrientes para los microorganismos; la metodología consistió en dos etapas, la primera etapa consiste en establecer dos pruebas a nivel de laboratorio aplicando lodo residual fresco y tamizado por una malla de 2 mm y una a escala piloto aplicando lodo residual mineralizado, ambas muestras retenidas en matrices de 1 kg en frascos de vidrios de 2L, y la segunda etapa establece cuatro tratamientos establecidos de la misma forma que las muestras de la etapa 1, pero con muestras de 6kg de suelos retenidas en recipientes de plástico; el estudio fue realizado durante un periodo superior a los 130 días, de las cuales, los resultados obtenidos indica que la biorremediación de hidrocarburos presentes en el suelo realizado a nivel de laboratorio y piloto lograron tasas de 66 al 93%, además, se establece que la madurez del lodo residual influye en la remoción de hidrocarburos, al demostrarse que se presenta mayor remoción en las muestras donde se aplica lodo residual fresco. Se concluye que la utilización del lodo residual es una opción con gran valides científica debido a los resultados obtenidos por los microcosmos.

Medina-Herrera et al. (2020), en su artículo científico efectuado, aplicó lodo residual en suelos de características sódicos, con la intención de analizar en un corto plazo la actividad enzimática microbiana y las variaciones en la mineralización del carbono y nitrógeno, el procedimiento de análisis consistió en establecer áreas de 100 x 100 m para obtener las muestras

de suelo mediante calicatas de 20 – 25 cm en zigzag, recoger muestras compuestas de 6.5 Kg de suelo y establecer tres tipos de tratamientos, el tratamiento 1 sin lodo residual, el tratamiento dos con una aplicación de 20 Mg de lodo por hectárea y el tratamiento 3 con 40Mg de lodo por hectárea, el estudio fue analizado durante un periodo de 56 días, de las cuales, los resultados obtenidos indicaron que la actividad enzimática microbiana presentó un aumento del 2.81 y 3.59 de veces en los tratamientos dos y tres, además de presentar efectos positivos en la mineralización del carbono. Se concluye que la aplicación del lodo residual produce la bioestimulación de los microorganismos del suelo, además, en un corto plazo se logró la mineralización del carbono en el suelo sódico.

Nieto (2016), en su trabajo de investigación llevada a cabo, aplicó lodo residual en muestras de suelo calizo para identificar su efecto en el desarrollo de las plantas *Ligustrum vulgare*, con la intención de establecer las variaciones de las propiedades del suelo y la influencia en el crecimiento vegetal del mismo; el procedimiento del análisis consistió en desarrollar un ensayo en 4 parcelas en las cuales utilizo dos tipos de lodos depurado, lodo compostado con resto de poda y lodos tratados térmicamente, en parcelas de 20 x 20 metros con dosis de 50 t/ha en cada parcela con su lodo específico y dos parcelas de control, el estudio fue analizado durante un periodo de 15 meses, de las cuales los resultados obtenidos indicaron que la implementación de los dos tipos de lodos en el suelo mejoró el desarrollo de la planta, además, demostró una aumento de la fertilidad del suelo en cada parcela, los indicadores con mejor resultado fueron la materia orgánica, fósforo y nitrógeno, también, se presenta un aumento en la biomasa y en las raíces de las plantas donde se le aplicó lodo residual. Se concluye que la inserción de lodos compostado en el suelo para uso agrícola tiene gran relevancia en las características físicas de la planta, mejorando la producción y aspectos del producto vegetativo.

Salcedo-Pérez et al. (2007), en su artículo científico desarrollado, aplicó lodo residual como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal, con la finalidad de evaluar la eficacia de los lodos residuales para el crecimiento del maíz y *Pinus douglasiana*, el procedimiento de análisis consistió en distribuir homogéneamente cantidades de lodos deshidratados y lodos con residuos orgánicos de campo en parcelas de grandes hectáreas de cultivo para evaluar su influencia y rendimiento en el crecimiento del grano y forraje, el estudio fue analizado durante un periodo de 14 meses, de las cuales, los resultados obtenidos indican que el crecimiento del grano fue de un 22% en donde se mezcló con lodo y residuos, y un 18% en donde se aplicó lodos deshidratados, en comparación ambos con la parcela control; en cambio, el crecimiento del *Pinus douglasiana* demostró que la muestra de mayor proporción de lodos obtuvo una supervivencia del 83% respecto al *Pinus douglasiana* de control. Se concluye que el lodo residual incorporando residuos orgánicos de parques y jardines, presentan mayores cantidades de nutrientes que influyen en el desarrollo del forraje y grano del maíz, además, la presencia del lodo residual aumentó en un 20.9% a la sobrevivencia del *Pinus douglasiana*.

Sapuppo (2017), en su trabajo de investigación realizada, empleó lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos, para evaluar su efectividad en la bioestimulación de los microorganismos nativos, el procedimiento de análisis consistió en la recolección de 15 a 18 Kilogramos de suelos contaminados provenientes de zonas cercanas a hectáreas con incidentes de derrame de hidrocarburo, para después depositarlas en cubetas de 20 L y establecer tres tipos de tratamientos con 3 réplicas cada uno, el tratamiento 1 corresponde a la inoculación de cepas bacterianas autóctonas, el tratamiento 2 consiste en la aplicación de lodo residual junto a las cepas bacterianas y el tratamiento 3 corresponde a las muestras testigos sin aumento de lodo residual y cepas bacterianas; el estudio fue analizado durante un periodo de 90 días, de las cuales, los

resultados obtenidos indican que en los tratamientos donde se implementó el lodo residual, presentó un incremento de las bacterias autóctonas, además se registra que los valores de los nutrientes así como también el pH y la materia orgánica presentaron un aumento estableciéndose dentro de todos los rangos recomendables. Se concluye que la aplicación de lodos residuales en los suelos es un factor importante para remediar y disminuir la cantidad de hidrocarburo, por otro lado, la eficacia aumentaría si se realiza una inoculación de cepas bacterianas.

Sepúlveda et al. (2012), en su artículo científico efectuado, aplicó un biosólido sobre suelos Inceptisol, con la finalidad de evaluar la evolución de suelos degradados al aplicar fuentes con grandes cantidades de nutrientes, el procedimiento de análisis consistió en determinar una superficie de 40 hectáreas, de las cuales se establecerán dos zonas, la primera zona que no presentará aplicación de lodo residual y la segunda zona en donde se establecerá 4 parcelas de 20 m² en donde se aplicará biosólidos y se establecerá un muestreo al azar con las tomas de muestras para el día 17, 170, 385 y 510, el estudio fue analizado durante un periodo transcurrido de 1.4 años, de las cuales, los resultados obtenidos indican en la parcela sin biosólido presenta un pH de 5.85 y la parcela con biosólido presentó un aumento del pH a los 17 días dando como resultado 6.67 de pH, pero a los 510 presentó un pH de 5.83; la cantidad de fósforo disponible presente en el suelo sin biosólido fue de 15.7 ppm, y en las parcelas sufrió un aumento significativo, siendo el de mayor cantidad en el día 510 con 48.3 ppm; de igual manera, la cantidad de nitrógeno presentó un gran aumento, de 19.33 ppm a 21.72 ppm en el día 510; de los parámetros analizados como, materia orgánica, conductividad eléctrica y azufre presentaron un aumento en el día 510 en comparación con las cantidades obtenidas en las parcelas sin biosólido. Como conclusión resaltante, se muestra que la aplicación de biosólido en el suelo presenta una relación de aumento constante de los

parámetros esenciales para la fertilidad adecuada en el mismo, además, la aplicación del biosólido es la respuesta rápida y sostenida para la biorremediación de todo tipo de suelos.

Silvana et al. (2017), en su artículo científico llevado a cabo, aplicó lodo residual en suelos contaminados de petróleo, para identificar la velocidad de degradación de distintas fracciones de petróleo; el procedimiento de análisis consistió en recolectar muestras de suelos con tomas de calicatas entre 0 y 30 cm de profundidad, y establecer dos tipos de tratamiento de biorremediación con tres repeticiones cada uno, el primer tratamiento consta de suelo contaminado con 5% de petróleo, y el segundo de igual manera, pero con un agregado de encomienda orgánica que es el lodo residual en proporción de 40 g de lodo por cada kilogramo de suelo contaminado; el estudio fue realizado durante un periodo de 120 días, de las cuales, los resultados obtenidos mediante el cromatograma del suelo indican que los picos de hidrocarburos detectados muestran un claro descenso al final del tratamiento, además, de demostrar una disminución clara de los compuestos de bajo PM en el contaminante de hidrocarburo presente en los microcosmos; se concluye que es viable la aplicación de biosólidos en suelos contaminados con hidrocarburo, ya que logran el crecimiento bacteriano generado por el adicionamiento de materia orgánica y nutrientes inorgánicos del biosólido.

Buendía (2013), en su artículo científico desarrollado, aplicó compost de aserrín y estiércoles en suelos contaminados por hidrocarburos, con la finalidad de determinar alternativas de costos bajos para biorremediar suelos contaminados, el procedimiento del análisis consistió en establecer doce tipos de tratamientos experimentales en macetas de 1 kilogramo, con tres repeticiones por maceta, desarrollando en total 36 macetas como unidades de investigación; cada maceta presenta 700 gr de suelo contaminado, con variaciones en los sustratos complementarios como aserrín, estiércol, cerdaza, vacaza, capirona y pino, para ser agregada en cada muestra la

planta *Zea mays* como bioindicador; el estudio fue analizado durante un periodo de 2 meses, de las cuales, los resultados obtenidos nos indica que las macetas donde usó estiércol y aserrín se presentó una disminución del 22.5 por ciento del contenido de hidrocarburos, en las muestras donde se empleó solo el estiércol dio resultados de una disminución de hidrocarburos de un 16.5 por ciento, y usando sólo aserrín se demuestra que disminuye un 9.6 por ciento, siendo los resultados de remediación más significantes. Se concluye que la aplicación de estiércol y aserrín son una nueva alternativa de restauración de suelos contaminados.

Chang, I. (2020), en su trabajo de investigación realizada, evaluó la biorremediación del hidrocarburo presente en un suelo contaminado aplicando *Pseudomonas spp*, con la intención de identificar el efecto de las mismas en diferentes dosis para biorremediar, el procedimiento de análisis consistió en establecer 100 gramos de suelo contaminado con tres repeticiones para cada tratamiento establecido, el primer tratamiento tiene una dosis de 20 ml de *Pseudomonas spp*, el segundo con 40 ml, y el tercero con 80 ml, el estudio fue analizado durante un periodo de 14 días, de las cuales, los resultados obtenidos indican que las muestras con 80ml de *Pseudomonas spp* presentaron un porcentaje de biorremediación de 9.44% y 11.19% en los días 7 y 14 del tratamiento, mientras que la muestra sin *Pseudomonas spp* presentaron un porcentaje de biorremediación de 2.7 % y 4.22 % en los días 7 y 14 del tratamiento. Se concluye que la presencia de las *Pseudomonas spp* ayuda de manera directa en la biorremediación del hidrocarburo, a su vez, mejora la eficiencia en la degradación del contaminante, por otro lado, la cantidad de las colonias de las *Pseudomonas spp* disminuye a la par con la cantidad del contaminante presente en el suelo.

Francisco et al. (2011), en su artículo científico efectuado, aplicó lodo residual en muestras de suelos agrícolas, con la finalidad de determinar el aprovechamiento agrícola del lodo residual, el procedimiento del análisis consistió en establecer dos tipos de ensayos, el ensayo número uno

se comprende por un conjunto de macetas con suelos agrícolas mezclado con una dosis del 0 al 10% de lodo residual, y el ensayo número dos se comprende por macetas con lodo residual en porcentajes de 25, 50, 75 y 100%, para que en ambos tipos de ensayos se logre establecer como un bioindicador a la planta *Zea mays*; el estudio fue analizado durante un periodo de 60 días, de las cuales, los resultados obtenidos nos indica que demostraron que el ensayo 2 demuestra mejores características en cuanto al crecimiento de la plántula, grosor de tallo, altura y materia seca, a los 60 días la altura promedio del tallo del ensayo 2 era de 142,67 cm y del ensayo 1 98.23, el grosor promedio del ensayo 2 era de 2,07 cm y del ensayo 1 es de 1,67 cm, a su vez, la materia seca del ensayo 2 era de 129,67 gramos y del ensayo 1 es de 45,67 gramos. En tal sentido, se interpreta que, a mayor cantidad de lodo residual, se va a evidenciar un mejor desarrollo en los cultivos presentes en los suelos agrícolas.

Gálvez (2014), en su trabajo de investigación llevado a cabo, aplicó lodo residual en el suelo para evaluar sus efectos en las variaciones de los principales parámetros y su influencia en el crecimiento de las plantas *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Lactuca sativa*, y *Raphanus sativus*; el procedimiento de análisis consistió en establecer muestras de suelos con proporciones de lodo residual de un 25%, 50%, 75% y 100%, adicional de la muestra control sin ningún agregado de lodo residual, el estudio fue analizado en un periodo de 5 meses, de los cuales, los resultados obtenidos indican que la aplicación del lodo en muestras con *Zea mays* duplican los valores del suelo testigo, la muestras con 75% lodo residual es la que mejor característica representa para el crecimiento de la *Phaseolus vulgaris*; la *Lactuca sativa* demostró ser una especie inhibida en base al aumento de las proporciones del lodo residual, y el análisis en las plantas *Raphanus sativus* demuestran que no se obtiene valores directos que indiquen la favorabilidad del crecimiento. Se

concluye que aplicar lodo residual como fuente de abono, afecta de manera directa al crecimiento de las plantas, a su vez, es una alternativa recomendable.

Gerónimo y Vásquez (2017), en su trabajo de investigación desarrollada, aplicó lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de determinar su eficiencia como biorremediador, el procedimiento del análisis consistió en establecer muestras de suelos contaminadas con hidrocarburo contenidas en macetas con proporciones de 20, 30 y 40% de lodo residual, para un análisis continuo durante 90 días; de las cuales, los resultados obtenidos se indica que las muestras con 30 y 40% de lodo residual, presentan 46.2 y 49.9 % de remociones de hidrocarburos, respectivamente; además de presentar mejoras en las condiciones iniciales del suelo tras la aplicación del lodo como enmienda. Se concluye de manera general, que la aplicación del lodo influye en la degradación microbiana, mejorando de manera directa la calidad del suelo y su restablecimiento de manera significativa.

Gutiérrez (2010), en su trabajo de investigación realizada, aplicó lodo residual estabilizado y fertilizado en suelos contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de determinar la capacidad de biorremediación de los lodos; el procedimiento del análisis consistió en establecer tres grupos de estudios conformada por recipientes de 20 litros de capacidad con suelo contaminado homogenizado con lodo residual estabilizado en proporciones de 0, 30 y 50%, con dos replicas cada grupo, el estudio fue analizado durante un periodo de 4 meses, de las cuales, los resultados obtenidos nos indica que a medida que pasa el tiempo los hidrocarburos totales de petróleo disminuyen en las muestras, además, las muestras con 30% de lodo residual presentan las mejores condiciones para el crecimiento de las bacterias heterótrofas, presentan una mejora en la concentración de nitrógeno total y materia orgánica, siendo solo el parámetro de fósforo total el que disminuye en las muestras, al ser proveedor de nutrientes para el crecimiento bacteriano,

también, el parámetro de humedad nos indica que en las muestras donde se presenta lodo residual presenta mejor humedad debido a que forma una esponja que atrapa el agua para ser utilizado por los microorganismos. Se concluye que la aplicación de lodo residual en suelos con hidrocarburos, es una fuente de nutrientes que favorece el desarrollo de los microorganismos, y a su vez, favorece la degradación de los hidrocarburos en la superficie.

Onofre (2018), en su trabajo de investigación efectuada, propone alternativas de aprovechamiento del lodo residual, con la finalidad de plantear subproductos del lodo como abono orgánico, fertilizantes foliares y biogás, mediante un manejo integral dentro de la planta de tratamiento; establece que si se realiza un manejo integral dentro de las plantas de tratamiento, los lodos residuales tendrían mejores condiciones en ser utilizados como materia para la mejora de suelos, ya que presenta grandes cantidades de fósforo, potasio y nitrógeno que son asimilables rápidamente cuando se aplica al suelo, también, presenta cantidades de parámetros trazas, que aceleran la actividad microbiana del suelo, así mismo, se detalla que la aplicación de los lodos pueden ser implementados en áreas forestales y áreas verdes distritales.

Peralta (2017), en su trabajo de investigación llevado a cabo, incorporo lodo residual en muestras de suelo para determinar la cantidad apropiada para establecer el mejor crecimiento del *Pinus radiata*, el procedimiento de evaluación consistió en establecer seis tipos de tratamientos, las cuales corresponden a que el tratamiento 1 presenta 20% de lodo residual, el tratamiento 2 tiene 40% de lodo, el tratamiento 3 presenta 60% de lodo residual, el tratamiento 4 tiene 80% de lodo, el tratamiento 5 presenta 100% de lodo residual y el tratamiento 6 no presenta ningún agregado de lodo residual, el estudio fue analizado durante un periodo de 210 días, de las cuales, los resultados obtenidos nos indican que la muestra con 100% lodo residual presenta una rentabilidad económica del 104.33%, seguido por el tratamiento 4 con la aplicación del 80% de lodo residual con una

rentabilidad económica del 96.62%, por otro lado, el tratamiento donde se aplica 40% de lodo residual es la identificada como la dosis óptima para el desarrollo de las plantas *Pinus radiata*. Se concluye que la aplicación del lodo residual en el suelo es una fuente directa de nutrientes para la vegetación disponible.

Reyes (2008), en su trabajo de investigación desarrollada, aplicó lodo residual en parcelas de suelo arenoso, con la finalidad de mejorar las condiciones del suelo, el procedimiento del análisis consistió en aplicar cinco dosis de 10 a 70 toneladas de lodo residual en las diversas hectáreas que presentan suelo arenoso, con el fin de mejorarlo y se pueda desarrollar el crecimiento de la planta *Zea mays*, el estudio fue analizado durante un periodo de 93 días, de las cuales, los resultados obtenidos nos indican que fue la dosis de 50 toneladas por hectárea la que presentó mejores resultados, de las cuales, el suelo arenoso mejoró en porcentaje de materia orgánica del 0,08% a 1,83%, el porcentaje de nitrógeno aumento de 0,012 a 0,15%, la cantidad de potasio presentó un aumento de 160 a 185 mg/ kg, además, la cantidad de fósforo y la retención hidráulica presentaron también un aumento significativo, de 100 a 647 mg/kg y de 24,2 a 59% respectivamente. Además, como conclusión principal se resalta que la utilización del lodo residual estabilizado es una gran enmienda para mejorar todas las características de los suelos arcillosos, transformándolo en un suelo con gran potencialidad en la agricultura.

Valenzuela (2019), en su trabajo de investigación realizada, aplicó lodos activados en suelos contaminados con arsénico cultivado con *Avena sativa* L., con la finalidad de establecer las capacidades del lodo residual como fuente de nutrientes para el suelo, el procedimiento del análisis consistió en emplear dosis de lodo activado de 0, 5, 10, 15 y 20% como tratamientos, en 3 repeticiones, en macetas de 2 kilogramos de suelo, sembrando cultivo de avena, el estudio fue analizado durante un periodo de 65 días, de las cuales, los resultados obtenidos nos indican que

las muestras donde se aplica 20% de lodo residual presentan mejores características a las demás unidades, dado que, presentó un aumento del fósforo disponible, una disminución de la densidad aparente del suelo y del pH, además, de degradar el arsénico presente en las muestras. Se concluye que la aplicación del lodo reduce la cantidad de arsénico en el suelo, también, influye directamente en el desarrollo del crecimiento de la planta.

Villena (2019), en su trabajo de investigación efectuada, aplicó lodos residuales en suelos contaminados por combustible diésel, con la finalidad de analizar los efectos del lodo en la mejora de los suelos, el procedimiento del análisis consistió en establecer dos tratamientos de suelos contaminados más el tratamiento control, de las cuales, el tratamiento 1 tiene una concentración de diésel de 10 000mg/kg de suelo homogenizado con el 25% de lodo residual, el tratamiento dos tiene una concentración de diésel de 10 000mg/kg de suelo homogenizado con el 50% de lodo residual, y el tratamiento control solo presenta el suelo contaminado a una concentración de contaminante de 10 000mg/kg sin añadir lodo residual, el estudio fue analizado durante un periodo de 12 semanas, de las cuales, los resultados obtenidos se indica que las muestras con 50% de lodo residual presentaron una degradación de diésel de 10350mg/kg de suelo a 1129.67 mg/kg de suelo, presentando un 91% de eficiencia. Se concluye que la aplicación de lodo residual es eficaz con la degradación de diésel en el suelo.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. *Microcosmo terrestre*

a) Definición de microcosmo terrestre.

El microcosmo, como lo indica Kwak & An (2016) es el modelo terrestre que se analiza en laboratorio para estimar las concentraciones ambientales en el suelo, la ecotoxicidad, el riesgo ambiental al inocular un contaminante, la sensibilidad de las

especies del suelo al contacto con los químicos, y los procesos de mineralización que se desarrollan en la superficie, de igual manera, Gruiz et al. (2015) describe que un microcosmo es una representación de la realidad, que se aplica en laboratorio o en campo, para analizar el comportamiento del ecosistema ante contaminantes químicos o su comportamiento ante condiciones ambientales normales. Por lo señalado, el microcosmo es una unidad de estudio que permite identificar todas las variables posibles que presenta el análisis del suelo, y las relaciones entre las mismas, además de ser una técnica que analiza los efectos y las variaciones de un contaminante o sustancias tóxicas sobre el ecosistema.

El desarrollo de la conceptualización del microcosmos se fomenta por el compendio realizado por Sánchez et al. (1987), la cual sostiene al respecto que el microcosmo es un sistema pequeño y comprensible por la mente para conocer las fuerzas elementales que interaccionan en la calidad y desarrollo de la vida en un ecosistema; además añade que el microcosmo es una unidad experimental diseñada para evidenciar los procesos vitales que se desenvuelven en un ecosistema, y que su manipulación se puede realizar en laboratorios, ya que pueden ser contruidos de manera artificial.

b) Aplicación de microcosmo terrestre.

La utilización de los microcosmos comprende la gran variabilidad de fenómenos que se desarrolla en el medio natural, así como la relación continua de los componentes abióticos con los bióticos, por ello, el objetivo de su empleo siempre variará según el investigador, algunos objetivos del uso del microcosmo pueden trazar determinar la relación entre un hongo y un invertebrado en descomposición presente en el suelo (Bear et al., 2014), analizar el efecto del uranio en una comunidad fúngica (Fomina et al., 2019),

identificar el potencial biorremediador de las bacterias ante el hidrocarburo disponible en el suelo (Roy et al., 2014), evaluar la potencialidad de biorremediación de cromo de la *Aspergillus niger* (Srivastava y Thakur, 2006), evaluar los efectos de los insecticidas en las lombrices de tierra (Velki et al., 2014), o analizar la mejora de un suelo arenoso al aplicarle bi-carbón (Molnár et al., 2016). El objetivo del uso del microcosmo busca analizar de manera holística las propiedades de un sistema para poder validar una conjetura que el investigador implanta, y establecer relaciones ecológicas.

La complejidad de muchos enfoques de investigación conlleva a analizar la verdadera aplicación de un microcosmo, por ello Sánchez et al. (1987) menciona que las principales aplicaciones son para distinguir los procesos del suelo, dinámicas de población microbiana, interacciones de microbios con invertebrados, las relaciones de una planta con el suelo o de una planta con el agua, las relaciones tróficas y las rutas metabólicas en procesos como bioacumulación, y procesos de biorremediación. La aplicación del microcosmo terrestre sirve para describir procesos en el suelo de manera de simulación a la realidad, y comprender las interacciones entre los actores y/o variables a analizar.

1.2.2. Lodo residual

a) Definición y clasificación de lodo residual.

Rivero (2017) describe al lodo residual como un residuo semisólido producido en depuradores comunales y en las fosas sépticas; que son almacenados y direccionados a la planta de tratamiento para su posterior separación del agua residual, y ser apartado como una biomasa generada por la transformación biológica de la planta de tratamiento. A su vez, Amador-Díaz et al. (2015) describe que el lodo residual es el resultado de los procesos realizados en la depuración de las aguas residuales de una planta de tratamiento, y que

presenta la concentración de todos los sólidos presente en los efluentes domésticos. El lodo residual es el producto del tratamiento de las aguas captadas del sistema de saneamiento, de la cuál es un residuo sólido peligroso, por los microorganismos patógenos presentes en los sólidos captados.

En el territorio peruano, en base a las normas internacionales, el Ministerio de Vivienda, Control y Saneamiento (MVCS, 2017) clasifica al lodo residual en Biosólido clase A, y Biosólido clase B:

- Biosólido clase A: Es un biosólido que puede ser aplicado de manera directa al suelo, ya que no presenta restricciones sanitarias.
- Biosólido clase B: Es un biosólido que dependerá su uso según la ubicación del lugar donde se aplique, o el tipo de suelo y/o cultivo donde se establezca, ya que presenta restricciones sanitarias; para ello la **Tabla 1** señala los parámetros a implementar para la clasificación del lodo residual.

Tabla 1

Clasificación del Lodo Residual

Parámetros	Lodo Clase A	Lodo Clase B
Arsénico Mg/Kg ST	40	40
Materia seca		
Cadmio Mg/Kg ST	40	40
Materia seca		
Cromo Mg/Kg ST	1200	1200
Materia seca		
Cobre Mg/Kg ST	1500	1500
Materia seca		
Plomo Mg/Kg ST	400	400
Materia seca		
Mercurio Mg/Kg ST	17	17
Materia seca		
Níquel Mg/Kg ST	400	400
Materia seca		
Zinc Mg/Kg ST	2400	2400
Materia seca		

Escherichia Coli	< 1.000 NPM/ 1g ST	<2.000.000 NPM/ 1g ST ^a
Salmonella spp.	< 1 NPM/10g ST	-

Nota. La concentración de material orgánica de sólidos volátiles, debe ser menor o igual al 60% de la materia seca, en cada tipo de clase del lodo residual.

^a Valor extraído de la investigación de Gálvez (2014).

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Vivienda, Control, y Saneamiento (MVCS, 2017).

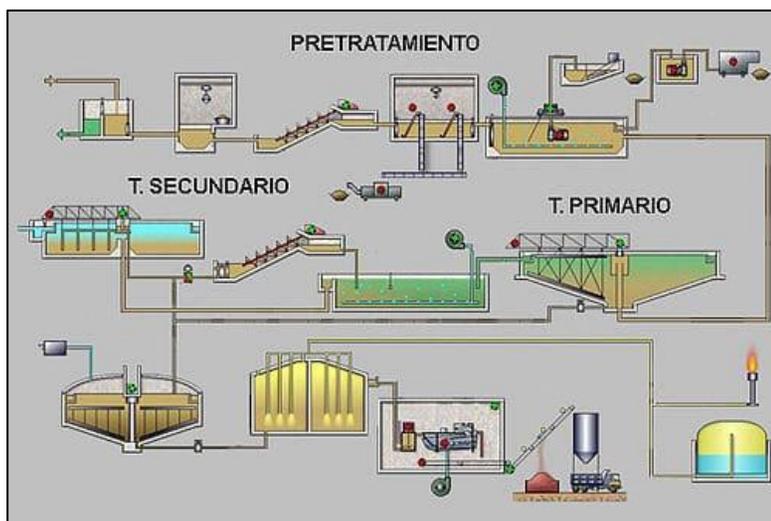
b) Formación del lodo residual.

El lodo residual o biosólido (lodo residual estabilizado) se producen dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales, cómo lo detalla Möbius (2017) una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas es un conjunto de tratamientos donde se establece una sucesión de procesos químicos, biológicos y físicos con el fin de excluir todos los contaminantes presentes en el efluente proveniente de las localidades cercanas. En ese sentido, una PTAR está comprendida por etapas o fases, Jiménez (2014) señala que en la fase cero conocido como etapa de pretratamiento, consiste de eliminar todos los sólidos presentes de gran tamaño mediante procesos físicos y químicos, en la fase 1 conocida como etapa de tratamiento primario, se desarrolla la eliminación de la materia en suspensión del agua residual mediante procesos físicos, en la fase 2 distinguida como etapa de tratamiento secundario, se establece la biodegradación de toda materia orgánica biodegradable mediante proceso biológico, y en la fase 3 conocida como tratamiento terciario, establece un tratamiento detallado para el uso posterior del agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos. El esquema de una planta de tratamientos, dependerá de la cantidad de afluentes a tratar en un determinado tiempo, y de las características comunes de las aguas residuales.

La generación de lodo residual se produce en la etapa de tratamiento primario y en la etapa de tratamiento secundario (ver **Figura 1**), Narváez (2018a) describe que el tratamiento primario se reduce en un sistema de sedimentación y en un sistema de decantación, en la que se busca separar los sólidos en suspensión sedimentables que tienen un tiempo mayor a precipitarse, para ello, se emplea tres procesos unitarios, se inicia con la sedimentación donde se reduce la velocidad de circulación de las aguas y que las partículas se acumulen en el fondo del sedimentador, en este punto del sedimentador se logra separar entre el 50 y 70% de sólidos, generando gran cantidad de fangos, consiguiente con la sedimentación, es el proceso de flotación, donde se separa los sólidos que presentan un peso menor que el agua y que se encuentran siempre en la parte superior de los tanques, y que en ocasiones se implementa difusores para generar burbujeo y poder llevar los sólidos a la superficie para su posterior arrastre al contenedor de lodos, y el tercer proceso es la floculación, para poder realizar una sedimentación forzada en los coloides no sedimentables.

Figura 1

Diagrama de Procesos de una PTARD



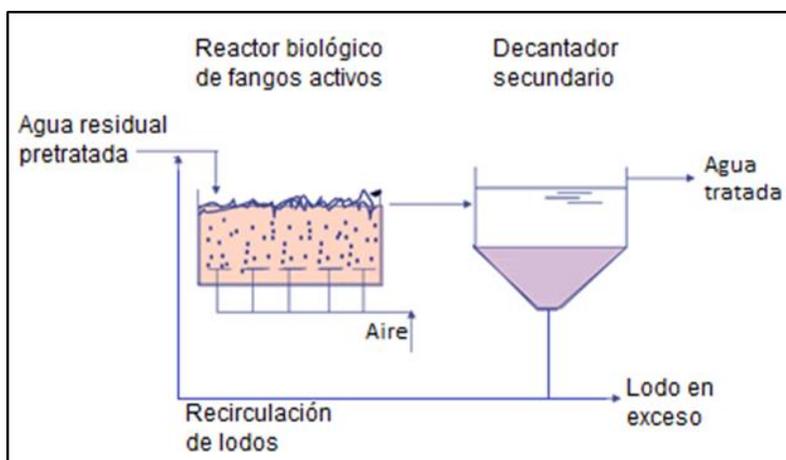
Nota. Sólo en la etapa de tratamiento primario y secundario presentan conductos hacia el gestor del lodo residual.

Fuente: Martínez et al. (2014).

En la etapa de tratamiento secundario (ver **Figura 2**), Narváez (2018b) señala que se busca acelerar el crecimiento de microorganismos para poder quitar del medio a la materia orgánica biodegradable no sedimentable y los contaminantes junto a ellos, generando un fango o lodo residual para su reutilización o digestión definitiva mediante la biofloculación, inicia con un tratamiento aerobio establecido en las lagunas aireadas que hacen una función de reactor, en donde se realizará la degradación de la materia orgánica y el 50% del carbono se convierte en biomasa, para luego pasar al sedimentador secundario, en donde sedimentarán los floculos biológicos, que son separados para su tratamiento como lodos residuales. Es común ver de manera independiente la función del reactor y del sedimentador secundario, pero sus acciones se pueden llevar a cabo en equipos únicos donde se pueda realizar la función de decantador y reactor.

Figura 2

Tratamiento Secundario

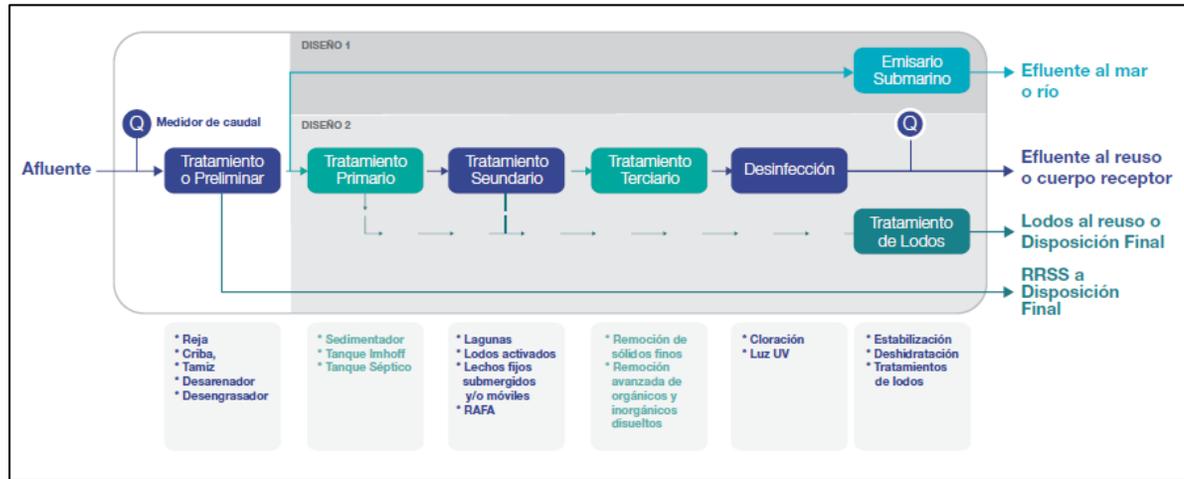


Nota. Se realiza una recirculación de una pequeña cantidad de fangos, ya que contiene parte del cultivo de bacterias que realizan biofloculación.

Fuente: GEDAR-Gestión de Aguas y Residuos (s.f.).

Figura 3

Esquema de una PTARD



Nota. Los momentos donde se miden el caudal del afluente están representados por la letra Q.

Fuente: Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento (SUNASS, 2015).

c) Característica del lodo residual.

El lodo residual, como lo detalla Rivero (2017) se presentan en estados semilíquidos y sólidos con un 0.25 – 12% de sólido en peso, en las cuales lo contribuyen los sólidos suspendidos, patógenos, nutrientes, contaminantes y sustancias orgánica biodegradables. De igual manera, Amador-Díaz et al. (2015) señala que los lodos residuales presentan una elevada cantidad de materia orgánica, y que dentro de ella se ubican los microorganismos, metales pesados, agua, y los macro y micronutrientes, además, que, por las condiciones de los tratamientos, se generan agentes contaminantes provocados por el cúmulo de materias en suspensión y compuestos orgánicos. No tratar

adecuadamente los lodos residuales conlleva a la expansión de los agentes patógenos en el lugar.

Existe diversas singularidades que condicionan las características del lodo residual, Limón (2013) indica que las características del lodo residual pueden variar según el origen de las aguas residuales y el tiempo de almacenamiento de las aguas residuales, además señala que el tratamiento determinado para las aguas residuales afectará a las características de la biomasa que se obtendrá como lodo residual. El lodo residual presentará características diferentes según los tratamientos que estos reciban; de los parámetros más resaltantes a analizar en todo lodo residual es el microbiológico con el análisis de enterobacterias, ya que son microorganismos presentes en los residuos generados por el tracto gastrointestinal y su presencia en el ambiente genera afectaciones en la salud.

Mantilla (2016) nos indica que el lodo residual presenta tres grupos de características, la primera es la característica física (ver **Tabla 2** y **Tabla 3**), la segunda es la característica química (ver **Tabla 4**) y la última es la característica biológica (ver **Tabla 5**); en las cuales la característica física lo representa con los parámetros de gravedad específica, sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos totales fijos, sólidos suspendidos, sólidos sedimentales, resistencia específica y capacidad calorífica; la característica química lo divide en inorgánico y orgánicos, y las características biológicas lo divide en bacterias, hongos, algas, macrofauna, microorganismos patógenos, microorganismos indicadores, bacterias patógenas, protozoarios y parásitos.

Tabla 2

Características Físicas del Lodo Residual

Parámetro	Definición	Determinación
-----------	------------	---------------

Sólidos Totales (ST)	Contenido total de sólidos en un lodo	Secado de muestra a 103-105° C
----------------------	---------------------------------------	--------------------------------

Fuente: Mantilla (2016).

Tabla 3

Características Físicas del Lodo Residual - 02

Parámetro	Definición	Determinación
Gravedad Específica	Relación de peso del material con respecto a un volumen igual de agua	$1/S_s = \sum 1(W_i/S_i)$ S _s = Gravedad específica del lodo W _i = Fracción de peso del iésimo componente del lodo. S _i = Gravedad específica del iésimo componente.
Sólidos Totales Volátiles (STV)	Representan la materia orgánica y los compuestos que puedan evaporarse a una temperatura de 550°C	Evaporación a 550°C de la muestra que se ha secado previamente a 103°C para determinar ST
Sólidos Totales Fijos (STF)	Representa el material remanente o cenizas después de determinar los SV	Se determina por diferencia de peso STF = ST – STV
Sólidos Suspendedos (SST)	Materia en suspensión que existe en el líquido y que se retiene en un filtro de fibra de vidrio 1.58 µm. Clasificación: SSV y SSF, cuando los SST se queman a 550°C	Secado de muestra remanente en filtro Temperatura: 103°C - 105 ° C
Sólidos Sedimentales	Sólidos que sedimentan fácilmente por gravedad y se expresan en mL/L	Se determina en un cono Inhoff durante 30'
Resistencia Específica	Capacidad de filtración de los lodos a una presión determinada. Se expresa en m/kg o seg ² /g	Se determina al filtrar un muestra de lodo a una presión determinada

Capacidad Calorífica Capacidad de Se determina por
 combustión de un lodo combustión de la muestra

Nota. Las características físicas del lodo residual se encuentran expuesta según el transporte del agua residual y según el diseño establecido de la planta de tratamiento.

Fuente: Mantilla (2016).

Tabla 4

Características Químicas del Lodo Residual

Parámetros	Constituyentes	Ejemplos
Inorgánicos	Arena, arcilla, materia mineral en suspensión, etc.	
	Metales pesados	Zn, Cu, Co, Ni, Cd, etc.
	Nutrientes	N,P,K.
	Aniones	Cloruros, sulfatos, nitratos, cianuros, sulfuros, etc.
Orgánicos	Cationes	Ca, Mg, Na, K, etc.
	Materia orgánica (fibras de origen vegetal, grasas y aceites, almidones, ligninas, etc.)	DBO DQO COT
	Tóxicos orgánicos	COVs, COVs, Pesticidas, Difenilos policlorados.

Nota. Las características químicas del lodo residual dependen de la manera directa del origen de aguas residuales, y del tipo de procesos a los que los fangos son expuestos dentro del tratamiento.

Fuente: Mantilla (2016).

Tabla 5

Características Biológicas del Lodo Residual

Microorganismos	Tipo
Bacterias	Aerobias, facultativas y anaerobias
Hongos	Levadura y hongos saprófitos
Algas	Presencia de gran cantidad de especies principalmente procedentes de sistemas de tratamiento lagunares
Macro fauna	Gusanos, larvas de insectos y crustáceos
Microorganismos Patógenos	
Microorganismos Indicadores	Coliformes fecales y totales

Bacterias Patógenas

Salmonella y Pseudomona aeruginosa

Protozoarios y Parásitos

Huevos de Helmito, Giardia Entomoeba

Histolítica

Nota. Las características biológicas del lodo residual son las más importantes a ser tratadas, ya que al ser mal manejadas son focos puntuales de enfermedades por la gran cantidad de microorganismos patógenos presentes.

Fuente: Mantilla (2016).

d) Estabilización del lodo residual.

La estabilización de los lodos residuales esta direccionada a la intención del uso de los mismos, para ello, se establece las acciones necesarias para reducir el potencial de putrefacción, anular todos los malos olores de los lodos, y reducir la cantidad de colonias de microorganismos patógenos, y así, poder obtener un producto inocuo que sea aprovechado para el medio ambiente (Holguín et al., 2014). Para ello, Amador-Díaz et al. (2015) describe que los tratamientos más comunes para estabilizar lodos son la sedimentación, en la que se remueve el agua para poder concentrar la mayor cantidad de lodo en sólidos, la estabilización alcalina, la cual disminuye la cantidad de colonias biológicas patógenas, la deshidratación, para lograr un manejo adecuado de los lodos, y el tratamiento térmico, la que logra disminuir cargas de agua y a su vez anular organismos patógenos presentes en el lodo.

La principal técnica de estabilización es la de alcalinización de lodos residuales, cómo lo detalla Torres et al. (2008) aplicar cal a los lodos residuales durante un tiempo de 72 horas, va a producir un aumento en la temperatura del lodo, que a su vez se va a generar iones de hidróxido, logrando aumentar el pH por encima de las 12 unidades. Este aumento temporal del potencial de hidrogeno, logra disminuir de gran manera la cantidad de microorganismos patógenos, además, logra reducir la presencia de huevos de helmintos. Muchas veces, se emplea dos o más técnicas de estabilización para generar una mayor

inocuidad en los lodos, algunos investigadores proponen que, para reducir los patógenos se puede someter los lodos residuales a una temperatura de 60°C durante 13 horas para después pasar un tratamiento alcalino mezclándolo con un 9% de peso con cal viva (Peñarete et al., 2013), someter los lodos residuales durante un periodo de 8 meses en la técnica Indore (Francisco et al., 2011), se puede mezclar el lodo residual con un porcentaje de cal viva en peso y después ser deshidratado por acción solar (Durán y Ladera, 2016), disponer el lodo residual a 105°C durante 4 horas (Bedoya-Urrego et al., 2013), aplicar 9% de cal hidratada y cal viva durante 13 días en pilas de biosólido de 0.5 toneladas (Torres et al., 2009) o la mineralización del lodo residual de 2 a 14 meses (Martínez-Prado et al., 2011).

1.2.3. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos

a) Suelo.

- Origen del suelo.

El suelo es un recurso no renovable, que tiene participación directa con los ciclos biogeoquímicos de los elementos esenciales para la vida, además de presentar muchos servicios ambientales (Burbano-Orjuela, 2016). De igual manera, es un sistema dinámico que con el paso del tiempo produce una evolución constante por las interacciones de factores ambientales, formando el medio donde crecen la mayoría de las plantas (Alcaraz, 2012). El suelo establece el único ámbito donde se puede desarrollar la agricultura, pero sus características variarán según las actividades y la exposición del clima que se presenta en ella; convirtiéndose en un sistema no homogéneo.

Jaramillo (2002) nos menciona que la variación del suelo está sujeta a diversos factores y sus interacciones entre sí (ver **Figura 4**), los factores más resaltantes que

intervienen en el origen y formación del suelo son: el tiempo, el clima, los organismos (macro y micro), el relieve y el material parental, además, en su investigación científica, nos indica que el desarrollo del suelo está basado en factores naturales, y que el suelo se encuentra en función al desarrollo de estos factores, tal como lo define con la Ecuación 1.

Ecuación 1

Formación del Suelo

$$S = f(C, MP, O, R, t)$$

Se definen: (S=Desarrollo del suelo, C=clima, MP= Material parental, O=Organismos, R=Relieve, t=Tiempo).

La conceptualización de los factores naturales que influyen en el origen y en la formación del suelo se describen de la siguiente manera:

- Clima; según Desonie (2016) es el factor con mayor incidencia en el suelo, ya que los componentes del clima generan una cantidad mayor de meteorización, y esto conlleva a generar una ración mayor de suelo. Por otro lado, Bóveda (2019) señala que el exceso de elementos como la precipitación, las elevadas temperaturas, viento, entre otros, producen una degradación en el suelo denominada erosión hídrica, ya que producen la obstrucción en los poros presentes en el suelo. Debemos tener en cuenta que el clima es un factor que va a determinar la cantidad de agua presente en el suelo, y que condicionara la evaporación del agua presente en la superficie, pudiendo condicionar el desarrollo de algunas colonias microbianas.
- Material parental; el material parental es el material inconsolidado del suelo, como lo menciona Ramírez (2016) el suelo se establece por la meteorización de una roca, pero no se puede implantar en la roca. Si el material parental se desarrolla in situ es

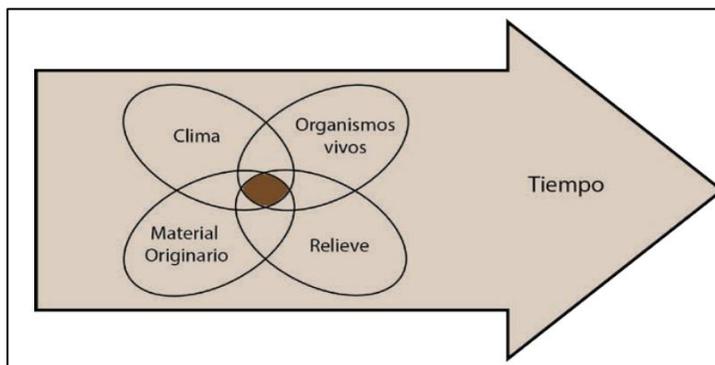
residual, si es transportado por gravedad es material coluvial, si es material transportado por ríos es aluvial, si es transportado por glaciales es glacial, y si es transportado por el viento es eólico (Soriano, 2016).

- Organismos: Crespo (2013) describe que en el suelo se encuentran albergados una gran cantidad de organismos que son percibidos con facilidad, y a su vez, una gran cantidad de microorganismos, los cuales presentan un gran valor por sus aportes al suelo. Ibáñez (2007) menciona que todos los organismos del suelo cumplen funciones para el mantenimiento de las estructuras del suelo, regulación hidrológica del mismo, para la captación del Carbono para el suelo, eliminación de los compuestos tóxicos, para generar el ciclo de nutrientes, y la descomposición de la materia orgánica. Es en el proceso de descomposición de la materia, donde los microorganismos reciclan energía para poder variar las concentraciones de N, Fe, S, P, Mg y otros elementos necesarios para el desarrollo de la vegetación.
- El relieve, las figuras y estructuras de la superficie, cómo los materiales que lo componen, sufren diversas variaciones con el transcurrir del tiempo por las afectaciones hidrológicas y climáticas de la zona, estos cambios son generados de manera directa por las precipitaciones, viento, oleaje, corriente de agua, la gravedad, derretimiento de hielos y nevado, las actividades en la superficie, los microorganismos, el transporte y el proceso de meteorización; los cambios son recurrentes en zonas con dominantes de relieves erosionales, relieves acumulativos o relieves deposicionales (Jaramillo, 2002).
- Tiempo, como lo detalla la Universidad de Córdoba (2017) es la variable donde dentro suyo interactuaran los factores climas, organismos, material parental y

relieve, además, que en función del tiempo se puede calificar al suelo en monogénico (se formó en un solo ciclo), y poligénico (se formó en más de un ciclo). El factor tiempo, ayuda a establecer un momento cero en el análisis de un suelo, y determinar qué acciones a sufrido y que generación animal y humana a provocado mayores cambios.

Figura 4

Factores Formadores del Suelo



Nota. El tiempo no es influenciado por otro factor, por ello, se le considera como el único factor independiente.

Fuente: Sanzano (2019).

- ***Textura del suelo.***

La textura del suelo es una propiedad conformada por el conjunto de partículas de arena, limo y arcilla, identificándose por la diferencia de tamaño que presenta cada una de ellas; las partículas conformantes del suelo presentan las siguientes medidas empezando por la más pequeña que es la arcilla con medidas menores a 0.002 mm, sigue las partículas de limo con medidas entre 0.002 mm a 0.02 mm, culminando con la partícula más grande que es la arena por medidas entre 0.02mm a 2 mm (Jaramillo,2002).Conocer el tipo de textura del suelo y la proporción de partículas que presenta, orienta a interpretar la aireación

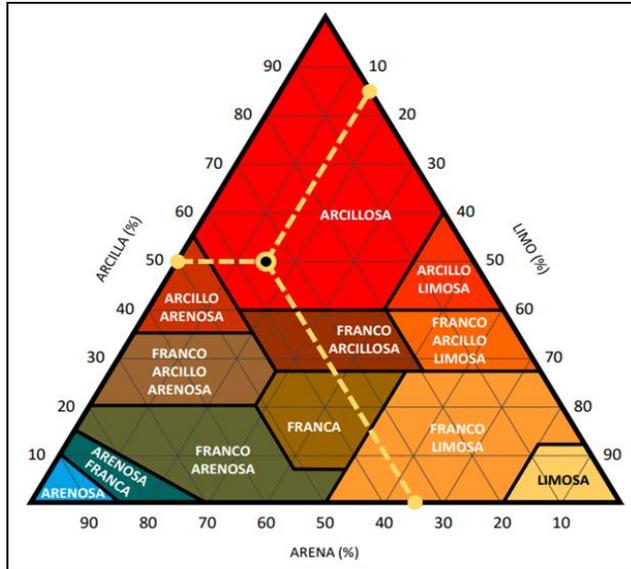
del suelo, permeabilidad, la capacidad de retención del agua, además, se puede aproximar la cantidad de nutrientes que puede albergar el suelo.

El estudio de la textura del suelo presenta mucha importancia ya que las partículas que lo conforman presenta distintas características, ante ello, López (2010) describe que los suelos arenosos son muy estáticos con poca capacidad para almacenar nutrientes presentando mala fertilidad química, además, sus propiedades la hacen que presenten una baja condición para la retención del agua, pero con alta permeabilidad y aireación; los suelos limosos presentan variaciones constantes en su composición, debido a que al conformarse por partículas pequeñas son propensas a los cambios generados por la aireación y el paso de flujos de agua, además, puede almacenar gran cantidad de agua, pero no puede acumular grandes cantidades de nutrientes; en los suelos arcillosos, presenta la características de almacenar gran cantidad de materia orgánica, convirtiéndole en una reserva de nutrientes con facilidad de regular el pH en el suelo. El mejor tipo de suelo es el suelo Franco, ya que forma una proporción adecuada de las moléculas de limo, arcilla y arena, la cual ayuda a que el suelo sea ligero, permeable y aireado, debido a sus fracciones gruesas y finas, formando un suelo equilibrado, favoreciendo el desarrollo adecuado de las plantas.

El método más utilizado para determinar la textura del suelo es la de triángulo textural (ver **Figura 5**), la cual trabaja en función a porcentajes obtenidos de partícula de arcilla, limo y arena de la muestra del suelo, estableciendo la intersección de las proyecciones de los resultados de partículas obtenidas.

Figura 5

Triángulo de Textura del Suelo



Nota. Para implementar el triángulo de textura, se debe analizar solo la materia mineral del suelo.

Fuente: López (2010).

- *Perfil del suelo.*

En cuanto al perfil del suelo, Scalone (2012) detalla que, al realizar tomas de muestras del suelo, también conocido como calicatas, se puede contemplar que el suelo está integrado por muchas capas, a la que a cada capa se le conocerá como horizonte del suelo, y el conjunto de los horizontes formaran al perfil del suelo (ver **Figura 6**).

Los horizontes del suelo presentan las siguientes características y descripciones:

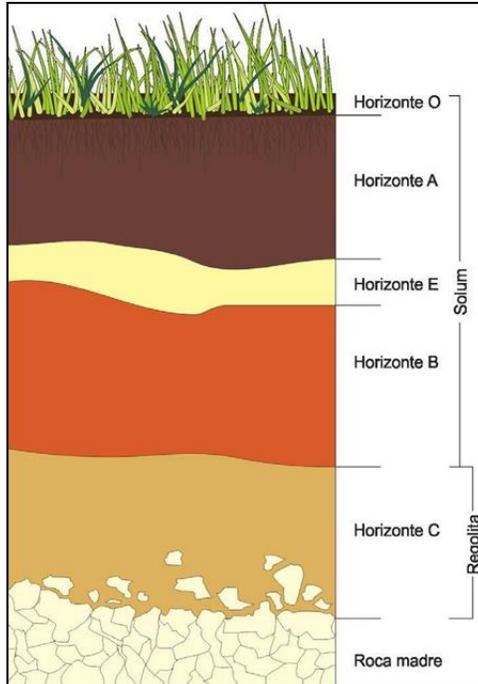
- Horizonte O, es la capa donde se produce la acumulación de la materia orgánica que no se puede descomponer, así como también, el acopio de las hojarascas (Chavarría, 2011). También, este horizonte es conocido por ser el de mayor contacto con la humedad y por estar expuesto a factores externos que se desarrolla en el medio.
- Horizonte A, según Baridón (2019) señala que es la capa donde se concentra la materia orgánica humificada. Es el horizonte más rico en minerales, pero por

influencia de la lluvia se produce una lixiviación de minerales solubles, llevándolo a los horizontes inferiores.

- Horizonte E, presenta elevadas cantidades de arena y limo, debido a la pérdida de sesquióxido de hierro y aluminio, además, presenta textura gruesa, ubicándose por debajo del horizonte A y por encima del horizonte B (Jaramillo, 2002).
- Horizonte B, capa donde se acumulan todos los minerales solubles que fueron lixiviados desde las capas superiores, además presentan una estructura de grandes terrones (Caballero, s.f.).
- Horizonte C, como lo detalla Scalone (2012) este horizonte se produce por la meteorización del horizonte R formándose por rocas no sedimentadas, además, presenta propiedades de cementación reversible, y condiciones de gleyzación.
- Horizonte R, según Fernández y Corbella (2017) este horizonte está conformado por todas las rocas duras, que solo pueden presentar variaciones mediante la utilización de tecnología pesada. Este horizonte, de manera sintetizada, está conformado por la roca madre sin presentar algún tipo de alteración.

Figura 6

Perfil del Suelo



Nota. Se denominan SOLUM a todas las capas que se encuentran sobre materiales madre (Scalone, 2012).

Fuente: Fernández y Corbella (2017).

b) Biorremediación.

La biorremediación como lo señala Iturbe (2010) es una técnica práctica que usa los microorganismos del mismo sistema para poder disminuir la cantidad de xenobióticos presentes en el ecosistema, además, sostiene que los microorganismos son parte fundamental en la biorremediación ya que tienen la capacidad de transformar los compuestos químicos tóxicos en compuestos menos dañinos. La biorremediación es la degradación del contaminante producida por los microorganismos lo que da como resultado la restauración del ecosistema, por ello, la biorremediación se centra en acelerar la reproducción y la capacidad degradadora de los microorganismos.

López et al. (2016) describen que la biorremediación es la degradación, transformación o mineralización que realiza los microorganismos en los contaminantes

presentes en el medio, estos microorganismos pueden ser nativos del suelo o microorganismos inoculados, además, este proceso se puede calificar como periodos largos de descontaminación o para acelerar la actividad microbiana. La biorremediación es efectiva cuando se establece los microorganismos nativos del suelo, y cuando se demuestra que las concentraciones del contaminante son cada vez menores con el transcurso del tiempo.

- ***Crecimiento microbiano.***

El crecimiento microbiano, describe el incremento de la población de determinadas especies microbianas, que tienen los suministros adecuados para sus necesidades, tales como nutrientes, una temperatura adecuada y/o un potencial de hidrogeno idóneo en el medio (Jiménez, 2015). Por otro lado, López (2016) señala que el crecimiento microbiano es el incremento de la biomasa, y conocer la manera de su crecimiento influye para el control de los mismos, además, el crecimiento microbiano presenta cuatro fases (ver **Figura 7**), las cuales son: Fase lag, fase exponencial, fase estacionaria y fase de muerte.

Las fases del crecimiento microbiano se describen de la siguiente manera:

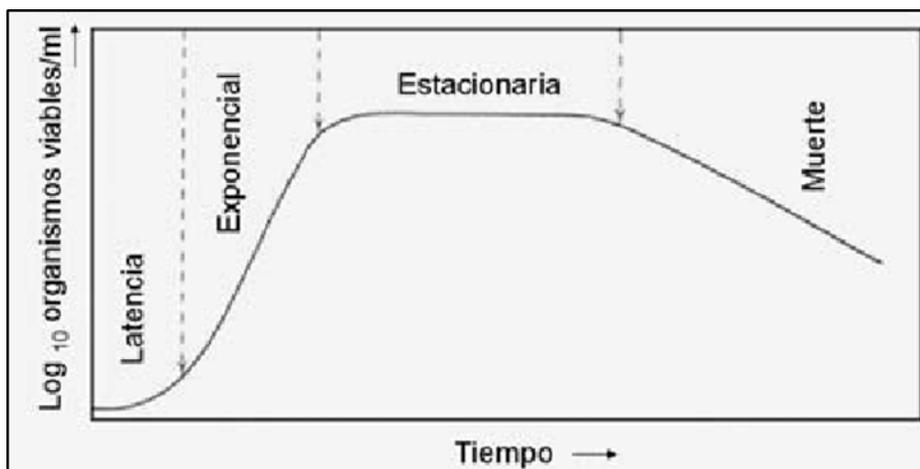
- Fase lag, cómo lo señala Benintende y Sánchez (s.f.), en esta fase se presenta un ilusorio reposo pero que las células estarán sintetizando todas las enzimas necesarias para desarrollar las actividades metabólicas, además, la cantidad de células no aumenta trascendentemente, pero se van generando las enzimas para adaptarse al medio. Se desarrolla la adaptación de la bacteria al medio, para asimilar todos los nutrientes disponibles.
- Fase exponencial, es la cual todos los microorganismos se dividen y crecen hasta su límite posible, pero cuyo crecimiento será de manera regular debido a que las

células crecerán ligeramente distinta a las demás (Sancho, 2015). Se produce el incremento de todos los microorganismos, por la asimilación de los nutrientes.

- Fase estacionaria, como lo menciona Varela y Grotiuz (2008) es la fase donde inicia el cese del crecimiento de todos los microorganismos, debido a que se agotó los nutrientes y se produjeron sustancias toxicas en el medio.
- Fase de muerte, es la fase donde por condiciones externas, como falta de nutrientes, deja de establecerse un crecimiento, generando que las células que mueren sea mayor a las que se forman (Centro Europeo de Postgrado [CEUPE], 2020).

Figura 7

Fases del Crecimiento Microbiano



Fuente: Cobas et al. (2007)

- ***Degradación de hidrocarburos.***

Lozano (2005) detalla que los hidrocarburos presentan una gran cantidad de materia orgánica, lo que facilita que una gran variedad de microorganismos puedan degradarlo de manera aeróbica, además, esta degradación se ve facilitada cuando la zona contaminada con presencia de hidrocarburos, se encuentra expuesta en un medio húmedo con gran exposición al aire, por otro lado, describe que un 6% del 80% de hongos presentes en el

suelo, y el 0.13% del 50% de bacterias que se encuentran en el suelo, pueden utilizar los hidrocarburos como cualquier otro sustrato. Crespo (2016) menciona que los microorganismos resaltantes, que degradan petróleo en el suelo, son las *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Acinetobacter*, *Sphingomonas*, y diversos hongos.

Buendía (2013) establece que la degradación de alcanos genera dióxido de carbono, agua y calor, pero que es necesario la presencia de oxígeno en el medio ambiente, dicha degradación se representa en la **Ecuación 2**, además, detalla que la energía que genera la biodegradación es en forma de calor, lo que produce un aumento de la temperatura, pero que puede ser controlada si se realiza un proceso de aireación en el sistema. Maroto y Rogel (2008) señalan que el fundamento de la biodegradación dentro del microorganismo, es que se debe realizar unas continuas reacciones de óxido-reducción dentro de las cadenas respiratorias o dadoras de electrones de las células, y que, ante la presencia de hidrocarburos, este será representado como un sustrato orgánico que se comportará como un dador de electrones, para que toda actividad metabólica de la célula pueda degradarlo, por otro lado, los aceptores de electrones, como el oxígeno, hierro, sulfato y dióxido de carbono, establecerán si el proceso de degradación se realizara en condiciones aerobias o condiciones anaerobias.

Ecuación 2

Degradación de Alcanos



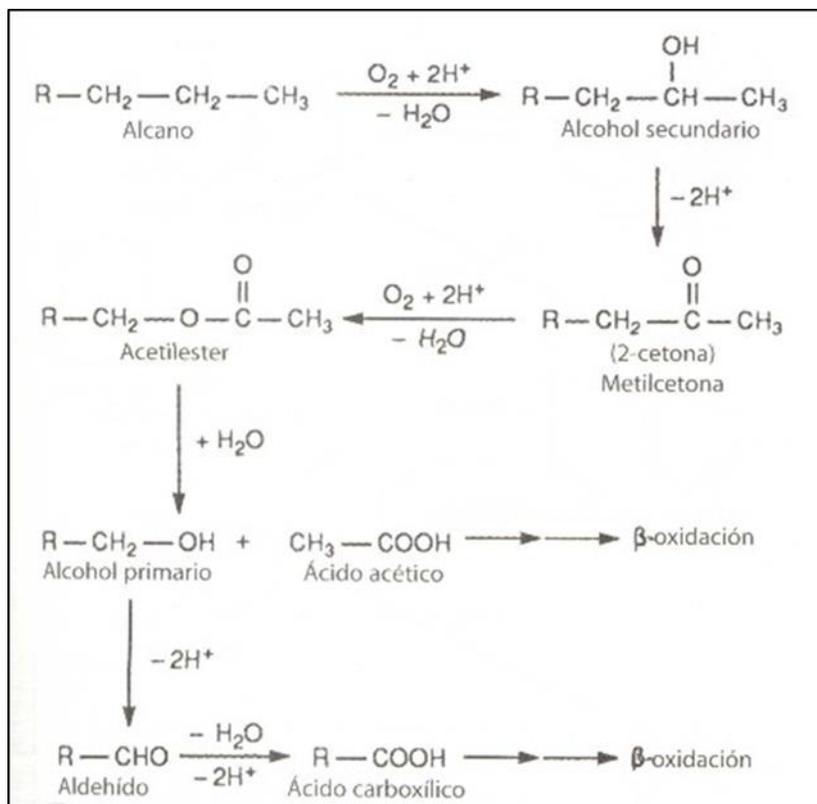
Fuente: Buendía (2013).

La degradación de los hidrocarburos alifáticos (ver **Figura 8**), como lo menciona Burgos (2008) mientras más saturado se encuentre el hidrocarburo a biorremediar,

presentara un mayor grado de dificultad en su degradación, a su vez, señala que a medida que la cadena del hidrocarburo sea más larga, su resistencia a la biodegradación aumentará, por otro lado, describe que los microorganismos degradadores de hidrocarburos alifáticos deben tener enzimas denominadas monooxigenasa, par así, oxidar con el oxígeno el último carbono de la cadena, y con su gran cantidad de enzimas, poder incorporar la molécula de oxígeno generada, obteniendo un hidrocarburo con una clase de alcohol, que mediante acción de otras enzimas, se oxida hasta lograr formar un grupo de aldehído, y después llegar a un carboxílico, generando una nueva molécula muy parecida a un ácido graso, que será degradado a un acetil -CoA por la β -oxidación.

Figura 8

Biodegradación de Hidrocarburos Alifáticos

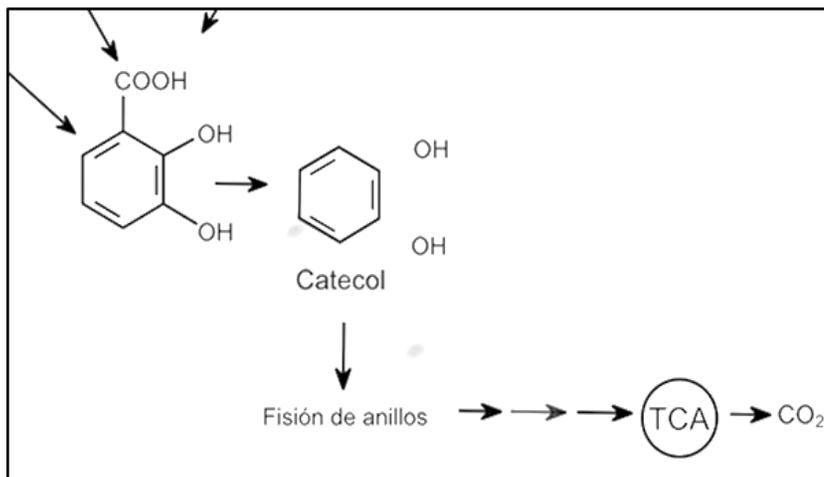


Fuente: Gerónimo y Vásquez (2017).

La degradación de los hidrocarburos aromáticos por los microorganismos por presencia del oxígeno, tal como lo detalla la Universidad Abierta y a Distancia de México (UNADM, 2014) indica que el compuesto aromático puede seguir diversas rutas de degradación, que en su proceso puede ser eliminado y/o aprovechada por la gran presencia de microorganismos, que, a su vez, el compuesto sufrirá un rompimiento en su estructura con una continua oxidación que formaran un intermediario denominado catecol (ver **Figura 9**), que pasará a ser oxidado para presentar un rompimiento en su anillo y ser así empleado en la vía metabólicas del Ciclo de Krebs, por otro lado, en los compuestos aromáticos que presentan un mayor grado de oxidación, se produce también una oxidación, formando otro intermediado denominado Protocatehuate (ver **Figura 10**), que también sufrirá el rompimiento en su estructura, para dirigirse a las vías metabólicas del ciclo de Krebs.

Figura 9

Formación del Catecol en la Degradación de Hidrocarburos Aromáticos

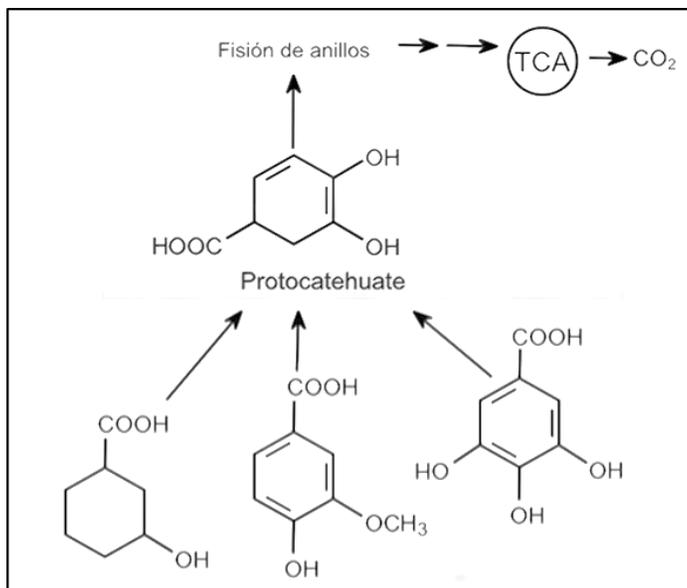


Nota. La vía metabólica del ciclo de Krebs, está representado por las siglas TCA

Fuente: Universidad Abierta y a Distancia de México (UNADM, 2014).

Figura 10

Formación del Protocatehuate en la Degradación de Hidrocarburos Aromáticos



Nota. La vía metabólica del ciclo de Krebs, está representado por las siglas TCA

Fuente: Universidad Abierta y a Distancia de México (UNADM, 2014)

- ***Técnicas de biodegradación.***

Trujillo y Ramírez (2012) señalan que se establece técnicas para poder mejorar los procesos de biorremediación en el suelo, dichas técnicas deben ser desarrolladas previo a un análisis de las actividades del ser humano cercano a las zonas contaminadas que pueden verse afectadas al ser desarrolladas las técnicas, los costos corporativos y comparativos, y la dificultad en referencia al acceso de las áreas a ser descontaminada, por ello, las técnicas que más se emplea son la bioestimulación y bioaumentación. Las técnicas de biorremediación influye de manera directa en la velocidad de degradación de los microorganismos, ya que proporcionan los factores necesarios para su reproducción.

La bioaumentación, como lo indica el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2007), es una técnica que se realiza en el cuerpo contaminado,

agregando de manera directa e inmediata, sustratos adscritos a mejorar la calidad del suelo, ejerciendo un aumento de nutrientes en el suelo, además, se involucra a nuevos microorganismos con capacidad degradadora, con el fin de acelerar la degradación o transformación del contaminante identificado, en conjunto con los microorganismos nativos del suelo a depurar. Peña (2017) señala que la bioaumentación es la agregación de microorganismos especializados al medio afectado, que van a potenciar la remediación, mediante mecanismos de destrucción, inmovilización y minimización de concentraciones de xenobióticos. Los organismos que se agregan son parte de la enmienda con grandes cantidades de nutrientes a implementar en la superficie contaminada. Se busca una asociación de los microorganismos nativos con los microorganismos inoculados con el único fin de degradar al contaminante presente en el suelo.

La bioestimulación es la actividad que establece flujos de introducción de oxígeno y nutrientes en el suelo afectado, con la intención de incitar a los microorganismos autóctonos del medio a acelerar la biodegradación de los contaminantes de manera in situ (INECC, 2017). Peña (2017) nos menciona que la bioestimulación se fundamenta en las variaciones de las condiciones naturales del sistema contaminado, con la finalidad de mejorar la atenuación natural; estas variaciones inician con la introducción de proporciones de nutrientes esenciales como fósforo y nitrato, compuestos de hierro, oxígeno y nitratos, además, cada nutriente a aportar debe ser analizado para entender su participación en el proceso de degradación aerobio o anaeróbico. Se aplica enmiendas con grandes cantidades de nutrientes con el fin de establecer los medios necesarios para que los microorganismos mejoren su capacidad degradadora, además, es importante para la técnica de bioestimulación el conocer la textura del suelo, ya que, si se intenta agregar nutrientes a un

suelo, y este resulta ser arcilloso, se generarían limitaciones en la trayectoria del oxígeno dentro del suelo.

c) **Hidrocarburos.**

Los hidrocarburos, como lo detalla Cornejo (2014) son los compuestos formados solamente por carbono e hidrogeno, además, añade que las mezclas de diferentes hidrocarburos forman al petróleo crudo. De igual manera, Serna (2016) agrega que siempre se dará el nombre de hidrocarburos en términos generales a los compuestos que cumplan lo mencionado, también detalla que los hidrocarburos son los compuestos que mueven a la vida en general, al ser siempre tratados como una fuente energética. Hoy en día, los hidrocarburos son los pilares para la economía mundial, ya que la mayoría de medicamentos, y materiales son creados por la síntesis del hidrocarburo (Bullón, 2020).

- ***Refinado de petróleo.***

Las características del petróleo, dependerá de la composición de los hidrocarburos que lo forman, pero los elementos químicos predominantes son el carbono (83% - 87 % en peso), hidrógeno (10% - 14% en peso), y elementos como azufre, nitrógeno, y oxígeno apareciendo hasta 6%, 2%, 1,5% en peso, respectivamente (Cortés, 2014). El crudo como tal, no puede ser utilizado de manera directa, por ello, pasa por procesos de purificación, separación y transformación, procesos que en conjunto se le denomina refinación del petróleo (EALDE, 2020). La refinación del petróleo, genera una gran agrupación de productos distintos que son aprovechados para la generación de energía, a su vez, lo que genera puede ser utilizado como materia prima en las industrias generales (Mora-Atiés y Marbot-Ramada, 2010).

Benini et al. (2011) señala que la refinería es una planta industrial, en la que se desarrolla la refinación del petróleo para obtener los derivados del mismo (ver **Tabla 6**), y que se lleva a cabo en especial con dos procesos: destilación atmosférica, en donde se desglosa las fracciones de los componentes de hidrocarburo del petróleo en base a sus temperaturas de ebullición, ya que se evapora los crudos, para lograr condensar los hidrocarburos, y la destilación al vacío, en donde se destilla las fracciones de hidrocarburos que no lograron destilarse con la destilación atmosférica, la cual trabaja reduciendo en casi su totalidad toda la presión dentro de la columna de destilación. Al pasar el crudo por la columna de destilación, se logra obtener diversos tipos de hidrocarburos, que serán aprovechados, en su mayoría, como una fuente de energía.

Tabla 6

Derivados del Petróleo

Fracción	Temperatura de Ebullición (°C)	Composición Aproximada	Principales usos
Gasolina ligera	20 – 100	C5H12 – C7H16	Disolvente
Bencina	70 – 90	C6 – C7	Limpieza en seco
Ligroína	80 – 120	C6 – C8	Disolvente
Gasolina ligera	20 – 180	C6 – C11	Carburantes de motores
Queroseno	200 – 300	C12 – C16	Alumbrado y carburante
Gasoil. Diésel	200 – 350	C13 – C18	Carburante de motores
Aceite lubricante	200 – 350	C16 – C20	Lubricantes
Grasas, vaselina	250 – 400	C18 – C22	Farmacéutica
Cera de parafina	245 – 540	C20 – C45	Velas
Betún asfáltico (35% peso)	>540	C30 – C45	Alquitrán asfáltico

Fuente: Viñas (2005)

El diésel, está compuesta por hidrocarburos olefínicos, parafínicos, cicloparafínicos, y aromáticos, en la que resalta los números de átomos de carbono entre

10 y 20 (Petenello et al., 2014), su presencia en el medio genera una mayor dinámica en el suelo, logrando inhibir a los microorganismos autóctonos y generando un aumento de la co-valencia de hidrocarburos, lo que provoca una nula degradación de este contaminante (Pérez et al., 2015), por otro lado, al tener contacto con el suelo, se va absorbiendo el diésel en las partículas de materia orgánica y en las partículas de arcilla, a medida que aumenta la absorción del diésel, genera una disminución del potencial de hidrogeno del suelo (Ávila, 2016). El diésel, es de los combustibles más usados en el mundo, por ello, es común los reportes de derrames accidentales del diésel al suelo durante su transporte, usos y/o almacén, en la **Tabla 7** se puede apreciar las propiedades y composiciones del Diésel.

Tabla 7

Propiedades del Diésel

Propiedades	Variables
Carbono	86.50%
Azufre	0.05% máximo
Agua	161 ppm
Hidrógeno	13%
Índice de cetano	40 – 55
Poder calorífico inferior	41.860 KJ/Kg
Viscosidad cinemática (40°C)	1.3-4-1 mm ² /s
Punto de inflamación	60 – 80 °C
Punto de ebullición	188 – 343 °C
Gravedad específica (60°F)	0.85 Kg/L
Relación aire/combustible	15

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Ávila (2016).

- **Clasificación de hidrocarburos.**

Villalobos (2018) describe que los hidrocarburos se pueden clasificar en dos grupos, acíclicos y cíclicos (ver **Figura 11**); los hidrocarburos acíclicos están conformados por alcanos, alquenos y alquinos, y los hidrocarburos cíclicos, por alicíclicos y aromáticos. Velásquez (2014) añade que los alcanos presentan ligadura sencilla, los alquenos tienen

doble ligadura, y los alquinos presentan triple ligadura, además, describe que los hidrocarburos aromáticos también son conocidos como bencénicos.

Toscano (2017) menciona que los alcanos se encuentran formados por enlaces sencillos, lo que los convierte en hidrocarburos saturados, además, también son conocidos como hidrocarburos alifáticos, ya que presentan una textura grasosa, por otro lado, añade que los alcanos son hidrocarburos con poca afinidad, debido a ello, no presenta una reacción química ante las temperaturas ambiente, o por contactos con ácidos o bases fuertes. Botello et al. (2005) añade que los alcanos con los primeros 4 átomos de carbono son gaseosos, los alcanos con 5 a 17 átomo de carbono son líquidos, y los que presentan de 18 a más átomos de carbono, son sólidos.

Los alquenos son hidrocarburos no saturados, formado por doble enlace de carbono (Claramunt et al., 2013), Angulo (2020) describe que también son conocidos como olefinas, y que, respecto a su reactividad, presenta como reacción característica la adición y en polimerización. Toscano (2017) señala que los alquenos con los primeros 3 átomos de carbono son gases a presión y a temperatura ambiente, los alcanos con 4 a 15 son hidrocarburos líquidos, y los que presentan de 16 a más átomos de carbono son hidrocarburos sólidos.

Los alquinos, como lo detalla Lozano (2017) son hidrocarburos insaturados con un triple enlace entre dos átomos de carbono, que son usados con frecuencia en las industrias, es un hidrocarburo más reactivo que los alquenos, pero presenta reacciones similares, por otro lado, tiene una densidad menor a la del agua, son soluble en solventes no polares, y sus puntos de ebullición y fusión, incrementa al aumentar el tamaño en la cadena. Toscano (2017) describe que los alquinos con los 3 primeros átomos de carbono son gaseosos, los

alquenos con 4 a 15 átomos de carbono son líquidos, y los alquenos de 16 a más átomos de carbono son hidrocarburos sólidos.

Figura 11

Clasificación de Hidrocarburos



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Velásquez (2014) y Villalobos (2018)

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál será la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos, bajo la aplicación de la técnica de microcosmo?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera se acondiciona los lodos residuales para su posterior aplicación en los suelos contaminados con hidrocarburos, en la técnica de microcosmo?
- ¿Cuál es la variación en el tiempo de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos, bajo la aplicación de la técnica de microcosmo?

- ¿Cuál es la eficacia de degradación de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos, bajo la aplicación de la técnica de microcosmo?
- ¿Qué propiedades físico, químicas, y microbiológicas varían en el tiempo en el suelo contaminado por hidrocarburo posterior al tratamiento con lodo residual, aplicando la técnica del microcosmo?

1.4. Justificación

Las actividades de extracción del petróleo generan la incorporación de hidrocarburos en el suelo, provocando daños ecológicos por el detrimento de la flora y fauna, y afectando las concentraciones necesarias de los nutrientes presentes en el suelo, disminuyendo así, la fertilidad del suelo y modificando el desarrollo de los microorganismos nativos de la superficie. Los suelos, al ser un recurso no renovable, presentan una capacidad de regeneración establecida en miles de años, convirtiéndose en un problema de seguridad alimentaria y en una pérdida de la base fundamental de la mayoría de los servicios ecosistémicos.

La mayoría de los tratamientos que son sometidos los suelos contaminados para su remediación, presentan costos altos, un tiempo de aplicación largo y un porcentaje de remediación menor al del cincuenta por ciento; pero en los últimos años, se ha consolidado la utilización de los lodos residuales, producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, como un biosólido con altas concentraciones de minerales y materia orgánica, que estimula la actividad microbiana presentes en el suelo.

El principal problema que generan los lodos residuales, es que son clasificados como residuos sólidos peligrosos, ya que se encuentran conformados por microorganismos patógenos provenientes de la flora gastrointestinal, y que su tratamiento, transporte y disposición final genera

elevados costos; pero su manejo adecuado previene impactos negativos en la salud y su implementación en las superficies mejoran las condiciones del suelo, por ello el conocimiento que pueda aportar la ejecución de una técnica como la del microcosmo permitirá evaluar la capacidad de los lodos residuales de biorremediar los suelos contaminados con hidrocarburos.

Este estudio pretende aplicar la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de establecer nuevas opciones de remediación de suelos con mayores eficacias y con un bajo costo de aplicación, a su vez, abarcando el tema de reducción de residuos sólidos peligrosos generados por las plantas de tratamiento de agua, valorizando un producto con las condiciones necesarias para las mejoras de las condiciones del suelo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Aplicar la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Acondicionar los lodos residuales para su posterior aplicación en los suelos contaminados con hidrocarburos, en la técnica de microcosmo.
- Determinar la variación en el tiempo de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos, bajo la aplicación de la técnica de microcosmo.
- Determinar la eficacia de degradación de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos, bajo la aplicación de la técnica de microcosmo.

- Determinar las propiedades físico, químicas, y microbiológicas que varían en el tiempo en el suelo contaminado con hidrocarburo posterior al tratamiento con lodo residual, aplicando la técnica del microcosmo.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La aplicación de la técnica del microcosmo permite determinar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.

1.6.2. Hipótesis específicos

- La aplicación de la técnica del microcosmo permite aplicar lodo residual acondicionado en suelos contaminados con hidrocarburos.
- La aplicación de la técnica del microcosmo permite determinar la variación en el tiempo de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos.
- La aplicación de la técnica del microcosmo permite determinar la eficacia de degradación de la concentración de hidrocarburos generado por el lodo residual en suelos contaminados con hidrocarburos.
- La aplicación de la técnica del microcosmo permite determinar las propiedades físico, químicas, y microbiológicas que varían en el tiempo en el suelo contaminado por hidrocarburos posterior al tratamiento con lodo residual.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación desarrollada es cuantitativa, correlacional, experimental, experimentos puros (Hernández-Sampieri et al., 2014); esto en base a que tiene un enfoque cuantitativo, en virtud a que se realizará la recolección de datos, en función a las mediciones numéricas para efectuar un análisis estadístico y poder aprobar la hipótesis desarrollada; de acuerdo a su alcance es correlacional, al estimar el grado de correlación entre las variables, debido a que se evaluará la capacidad biorremediadora de los lodos residuales, como causa, en suelos contaminados con hidrocarburos, como efecto; de acuerdo a su diseño, es experimental, ya que se manipulará de manera intencional la variable independiente, lodo residual y microcosmo, para analizar sus posibles resultados en la biorremediación del suelo contaminado por hidrocarburos: con categoría de experimentos puros, ya que se establecerá grupos de comparación, y se realizará prepruebas y postpruebas para el análisis de la evolución.

2.1.1. *Diseño de investigación*

El diseño de investigación está basado en la categoría de experimentos puros, ya que se establecerá grupo de comparación y equivalencia de grupos, además, se puede realizar prepruebas y postpruebas para poder analizar las variaciones de los grupos antes y después del inicio del experimento (Hernández-Sampieri et al. 2014). Dentro de experimentos puros, se encuentra establecido como un diseño experimental de series cronológicas múltiples, la cual, como lo detalla Arias (2013) cumple con realizar gran cantidad de observaciones sobre una variable establecida a través del tiempo, ya que, la influencia que se puede predecir de la variable independiente sobre la variable dependiente presentara diversas manifestaciones a mediano y largo plazo. Cómo se representa en la **Tabla 8**, las mediciones posteriores al estímulo en la variable independiente, puede

ser realizada la cantidad que se requiera o sea posible, ya que con el transcurrir del tiempo, se presentara modificaciones constantes, hasta llegar a un punto de igualdad en parámetros, por otro lado, se puede apreciar que un grupo no presenta la presencia la modificación de la variable independiente, ya que se establece como el grupo experimental de control, a su vez, las prepruebas son identificadas como mediciones previas, y puede realizarse varias antes del estímulo de la variable independiente.

Tabla 8

Diseño Experimental de Serie Cronológico Puro

RG Grupos Experimentales	0 Medición Previa	X Estímulo en Variable Independiente	0 Medición posterior a estimulación	0 Medición posterior a estimulación	0 Medición posterior a estimulación
RG ₁	0 ₁	X ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄
RG ₂	0 ₅	X ₂	0 ₆	0 ₇	0 ₈
RG ₃	0 ₉	X ₃	0 ₁₀	0 ₁₁	0 ₁₂
RG ₄	0 ₁₃	X ₄	0 ₁₄	0 ₁₅	0 ₁₆
RG ₅	0 ₁₇	-	0 ₁₈	0 ₁₉	0 ₂₀

Nota. Serie cronológica con prepruebas, con postpruebas y un grupo control.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

Suelos con clase textural Franco Arenosa, puesto que es una característica a los suelos pertenecientes a las zonas vulnerables a la contaminación con hidrocarburos de petróleo presentes en las áreas de extracción de hidrocarburo en el territorio peruano.

2.2.2. Muestra

La muestra utilizada fue de 50 kilogramos de suelo con clase textural Franco Arenosa por cada microcosmo que conforman al grupo experimental, el suelo se obtuvo en una empresa retail ubicado en la intersección de la Av. Tomás Valle 15311 con la Carretera Panamericana Norte, Distrito de Independencia.

2.3. Técnica e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

2.3.1. Materiales

Los materiales, insumos y equipos utilizados, necesariamente fueron divididos para establecer seis etapas en la parte experimental de la investigación, estos mencionados fueron variando según la etapa de ejecución del trabajo, las etapas de la parte experimental fueron: Recolección del lodo residual y suelo, Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo, Acondicionamiento de los microcosmos e instalación de los tratamientos, Muestreo, Determinación de parámetros, Análisis estadístico.

Tabla 9

Materiales Usados para la Experimentación

Material	Cantidad	Unidad	Etapas Experimentales
Pala metálica	1	-	1 ^a
Bolsa ziploc	25	-	4 ^d
Ruedas Garrucha	2	-	4 ^d
Cilindro Tapa Mecánica	1	L	3 ^c y 4 ^d
Malla 2 mm	1	mm	2 ^b
Piseta	1	ml	4 ^d

Nota. Se utiliza los Equipos de Protección Personal (EPP) en cada etapa experimental

^aEtapas de Recolección del lodo residual y suelo

^bEtapas de Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo

^cEtapas de Acondicionamiento de los microcosmos e instalación de los tratamientos

^dEtapas de Muestreo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Materiales Usados para la Experimentación – 02

Material	Cantidad	Unidad	Etapa Experimental
Plástico para agricultura	12	m	1 ^a , 2 ^b , y 3 ^c
Guantes de caucho	4	-	1 ^a , 2 ^b , 3 ^c , y 4 ^d
Lentes de protección	1	-	1 ^a , 2 ^b , 3 ^c , y 4 ^d
Mezclador metálico	1	-	4 ^d
Galón Plástico	2	L	3 ^c y 4 ^d
Picota	1	-	4 ^d
Pulverizador	1	L	4 ^d
Listón de madera Pino	1	m	3 ^c y 4 ^d
Sacos de polipropileno	5	-	1 ^a
Probeta	1	ml	2 ^b
Vaso precipitado	1	ml	2 ^b
Embudo	1	-	2 ^b
Tablero MDF	1	m2	3 ^c

Nota. Se utiliza los Equipos de Protección Personal (EPP) en cada etapa experimental

^aEtapa de Recolección del lodo residual y suelo

^bEtapa de Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo

^cEtapa de Acondicionamiento de los microcosmos e instalación de los tratamientos

^dEtapa de Muestreo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Insumos Usados en la Experimentación

Insumo	Cantidad	Unidad	Etapa Experimental
Suelo Franco Arenoso	200	kg	1 ^a , 2 ^b , 3 ^c , 4 ^d , y 5 ^e
Lodo Residual Deshidratado	100	kg	1 ^a , 2 ^b , 3 ^c , 4 ^d , y 5 ^e
Diésel	5	L	3 ^c
Cal	4	kg	2 ^b
Agua destilada	10	L	5 ^e

Nota. Se utiliza los Equipos de Protección Personal (EPP) en cada etapa experimental

^aEtapa de Recolección del lodo residual y suelo

^bEtapa de Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo

^cEtapa de Acondicionamiento de los microcosmos e instalación de los tratamientos

^dEtapa de Muestreo

^eEtapa de Determinación de parámetros

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Equipos Usados para la Experimentación

Equipos	Cantidad	Unidad	Etapa Experimental
Balanza digital 5 kg	1	Kg	1 ^a , 2 ^b y 4 ^d
Balanza digital 180 kg	1	Kg	1 ^a , 2 ^b , y 3 ^c
Multiparámetro	1	pH y CE	4 ^d
Sierra caladora	1	-	3 ^c
Termómetro de suelo (Medidor Digital del suelo)	1	C°	4 ^d
Taladra inalámbrico 12 v.	1	-	3 ^c

Nota. Se utiliza los Equipos de Protección Personal (EPP) en cada etapa experimental

^aEtapa de Recolección del lodo residual y suelo

^bEtapa de Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo

^cEtapa de Acondicionamiento de los microcosmos e instalación de los tratamientos

^dEtapa de Muestreo

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Instrumentos

A continuación, se detallan los instrumentos y técnicas utilizadas para la recolección de datos:

Tabla 13

Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

Etapa	Técnica	Instrumentos	Dato
Recolección del lodo residual y suelo	Reconocimiento	Ficha de registro de pesos del lodo residual	Muestra del lodo residual
Recolección del lodo residual y suelo	Reconocimiento	Ficha de registro de pesos del suelo recolectado	Muestra del suelo

^aEl análisis se realizará después de la deshidratación y del método de alcalinización del biosólido.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos – 02

Etapa	Técnica	Instrumentos	Dato
Higienización del lodo residual y contaminación Artificial del suelo	Análisis físico, químico y microbiológico del lodo residual ^a	Informe del laboratorio de la muestra del lodo residual	Cuantificación de: Potencial de hidrógeno, Conductividad eléctrica, Nitrógeno Total, Carbono Orgánico Total, Materia Orgánica, Temperatura, Humedad, Metales Pesados, Coliformes Termotolerantes, y Microorganismos Heterótrofos.
Higienización del lodo residual y contaminación Artificial del suelo	Análisis físico químico del suelo	Informe del laboratorio de la muestra del suelo	Cuantificación de: Potencial de hidrógeno, Conductividad eléctrica, Nitrógeno Total, Carbono Orgánico Total, Materia Orgánica, Temperatura, Humedad, Textura del Suelo, Metales Pesados, y Microorganismos Heterótrofos
Higienización del lodo residual y contaminación Artificial del suelo	Análisis físico químico del suelo ^b	Informe del laboratorio de la muestra del suelo	Cuantificación de: Potencial de hidrógeno, Conductividad eléctrica, Nitrógeno Total, Carbono Orgánico Total, Materia Orgánica, Temperatura, Humedad, Hidrocarburos Totales de Petróleo, Metales Pesados, y Microorganismos Heterótrofos

^aEl análisis se realizará después de la deshidratación y del método de alcalinización del biosólido.

^bEl análisis se realizará después de la contaminación artificial del suelo con el Diésel

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos – 03

Etapa	Técnica	Instrumentos	Dato
Acondicionamiento del microcosmo e instalación de tratamientos	Establecimientos de tratamientos según dosis del lodo residual	Ficha de registro de tratamientos establecidos	Microcosmos conformados
Muestreo	Análisis físico, químico y microbiológico del microcosmo	Informe del laboratorio de la muestra del microcosmo	Cuantificación de: - Cuantificación de: Potencial de Hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Nitrógeno Total, Carbono Orgánico Total, Materia Orgánica, Temperatura, Humedad, C:N, Hidrocarburos Totales de Petróleo, Textura del Suelo, Metales Pesados, y Microorganismos Heterótrofos Datos de porcentaje de remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)
Estadística	Análisis de datos	Cadena de custodia	

Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Métodos

a) Metodología para la recolección de muestras del suelo.

La toma de muestra realizada en los tratamientos presentes en los microcosmos, fue compuesta, para llevar a cabo la recolección de las muestras, se consideró la Guía para Muestreo de Suelos, brindado por el Ministerio del Ambiente (2014), en la mencionada guía, indican los tipos de muestreos, las técnicas de muestreos, y el manejo adecuado a las muestras recolectadas. Tras completar la recolección de las muestras, se procedió a

completar la cadena de custodia y los códigos a las muestras, dichas muestras fueron llevadas al Laboratorio CERPER Certificaciones del Perú S.A (ver **Tabla 16** y **Tabla 17**), y a la Universidad Nacional Agraria de la Molina (ver **Tabla 18**) para su cuantificación y análisis de parámetros.

Tabla 16

Metodología Aprobada por INACAL – Laboratorio CERPER

Ensayo	Norma de Referencia	Año	Unidad
Determinación potenciométrica	Protocolo de Métodos de Análisis de suelos y lodos. Universidad de Concepción. Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad chilena de la Ciencia del suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 4.1	2007	pH
Conductividad por conductimetría	Protocolo de Métodos de Análisis de suelos y lodos. Universidad de Concepción. Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad chilena de la Ciencia del suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 5.1	2007	dS/m
Nitrógeno Total	NOM 021 RECNAT – 2000 sección 7.3.17	2002	mg/kg
Carbono orgánico total	NOM 021 RECNAT – 2000 sección 7.1.7	2002	g/100g
Materia Orgánica	Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad chilena de la Ciencia del suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1	2002	g/100g

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17

Metodología Aprobada por INACAL – Laboratorio CERPER - 02

Ensayo	Norma de Referencia	Año	Unidad
Hidrocarburos Totales	EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID	2003	mg/kg
Determinación de textura del suelo	NOM 021-SEMARNAT-200-2002(Segunda sección). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación del suelo. Estudio, muestreo y análisis AS-09. Determinación de textura del suelo 7.1.9.	2002	%
Metales ICP-Masa	EPA METHOD 6020A. Revisión 1.2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwav assisted acid digestion of Sediments, sludges, solis, and oils)	2007	mg/Kg
Coliformes Termotolerantes	MEWW-APHA-AWWA-WEF.Part 9221 E1, 23 rd Ed.2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Membersof the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform procedure. Thermotolerant Coliform. Test (ECmedium)	2017	NMP/100g

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Metodología Aprobada por INACAL – Universidad Agraria de la Molina

Ensayo	Norma de Referencia	Año	Unidad
Pseudomona sp.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part9213F,23rd.ED	2017	UFC/g

Fuente: Elaboración propia.

b) Técnica del cuarteto del suelo.

Según lo señalado por Villena (2019), la técnica de cuarteto sirve para contaminar artificialmente los suelos para llegar a la concentración de contaminante requerida; por este motivo, se aplicó esta técnica en el total de las muestras de suelo para poder dividirlo en cuatro para colocar la dosis del contaminante en mililitros en cada proporción de suelo, y ser homogenizado y mezclado cada cuarteto para regresar a la cantidad inicial de muestra. Se implementó esta técnica para establecer una muestra de suelo homogenizada con el contaminante en cada punto de muestra.

c) Deshidratación del biosólido.

Como lo establece Bedoya-Urrego et al. (2013), la deshidratación del biosólido es el secado térmico natural o artificial al que será sometido del lodo residual para obtener su peso en seco; en su trabajo experimental sometió el lodo residual a 105°C durante 4 horas para facilitar su filtro por las mallas y ser homogenizado con el suelo. Esta técnica se aplicó para facilitar el tamizado del lodo residual y establecer un tamaño asimilable del lodo residual por el suelo contaminado.

d) Alcalinización del biosólido.

Torres et al. (2009) empleó la introducción de cal viva y cal hidratada para aumentar el pH y reducir así las colonias de microorganismos patógenos en el lodo residual, para así

establecer la incorporación del 9% de cal en peso según la cantidad de lodo residual con un monitoreo de microorganismos patógenos y pH durante 13 días. Esta técnica de estabilización fue realizada para disminuir el número más probable de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales a implementar en los microcosmos.

e) Técnica del microcosmo.

Según Kwak & An (2016) un microcosmo es un modelo terrestre que se analiza en laboratorio para estimar concentraciones ambientales en el suelo, el riesgo ambiental al inocular un contaminante, y la degradación de concentraciones de químicos contaminantes; para lo cual, utilizó esta técnica en su investigación para evaluar cuantitativamente la degradación de un contaminante presente en el suelo tras la introducción de diversas cantidades de enmiendas en el suelo. De acuerdo a ello, en la presente investigación, se implementó la técnica del microcosmo para evaluar cuantitativamente la degradación de hidrocarburos presente en los suelos tras la aplicación del lodo residual.

f) Técnica de biorremediación.

Como lo menciona Silvana et al. (2014), la biorremediación es una técnica que busca acelerar la biodegradación natural en los contaminantes mediante la intervención de los microorganismos, dicha aceleración se produce por la introducción de enmiendas en las muestras de suelo; para la cual, utilizo en su trabajo de investigación, fertilizantes como biosólidos, fertilizante sintético y compost. Esta técnica se implementó para el proceso de introducción y mezcla del lodo residual con el suelo contaminado con hidrocarburos en nuestro trabajo de investigación.

g) Método de bioestimulación.

La bioestimulación consiste en proporcionar nutrientes en el suelo para mejorar el proceso degradativa de los contaminantes, además, de utilizar técnicas físicas como la aireación, humectación y laboreo en el suelo, mejorando las condiciones de los microorganismos nativos y sus funciones de degradación, transformación y absorción de contaminantes (Silvana et al., 2014). Este método fue implementado al humectar los microcosmos e utilizar tambores rotatorios para la aireación de los sustratos a analizar.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Recolección de lodo residual y suelo

El lodo residual fue recolectado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica (PTAR) de Santa Clara, ubicado en el distrito de Ate Vitarte; la cantidad recolectada de lodo residual fue de 100 kilogramos, y fue extraído de manera directa después de su proceso de centrifugado, lo que permite que el lodo residual se encuentre deshidratado, a su vez, el lodo residual fue almacenado en sacos de polipropileno y rodeado con cinta film para su traslado. Por otro lado, el suelo es proveniente de una empresa retail ubicado en la intersección de la Av. Tomás Valle 15311 con la Carretera Panamericana Norte, Distrito de Independencia, de la cual, se obtuvo un total de 260 kilogramos del suelo, la recolección de este suelo se sustenta a trabajar con suelos que presenten las mismas características del suelo de la selva peruana bajo el criterio mencionado por Gerónimo y Vásquez (2017) de trabajar con suelos con características de la selva al ser suelos vulnerables por ser parte del ambiente donde se presentan mayores incidencias de derrame de petróleo; con el fin de simular los acontecimientos de daños ambientales sufrido en las últimas décadas por mal manejo en la extracción y transporte de hidrocarburos. La característica predominante en la elección del suelo, se enfoca en el tipo de textura del mismo, en donde se trabaja con suelos de texturas Franco arcillosa.

2.4.2. Higienización del lodo residual y contaminación artificial del suelo

a) Higienización del lodo residual.

La higienización del lodo residual, implica realizar una estabilización, que contempla eliminar los malos olores que produce el lodo residual, y a su vez, eliminar la mayor cantidad de microorganismo patógenos que el lodo residual contiene (Rubio, 2019). Por ello, la estabilización del lodo residual utilizado inició con la deshidratación del lodo residual, la cual fue deshidratado por acción solar (Durán y Ladera, 2016), durante un tiempo de 2 días, en la cual presentó temperatura de 28°C durante las horas de la tarde. Una vez adquirida el lodo residual deshidratado, se procedió a mezclar con cal a una cantidad de 0.60 Kg CaO/Kg MS del lodo residual, siendo incorporado en un tambor rotatorio para su homogenización, para después, para pasar un reposo de 1 día. La aplicación de la cal en el suelo, aumenta el potencial de hidrogeno del suelo a 12 unidades o más, logrando aumentar la temperatura del suelo, que, a su vez, genera la disminución de los microorganismos patógenos (Torres et al., 2008), para ello, el lodo residual se encontrará estabilizado cuando presente que la cantidad de *Escherichia Coli* sea menor a 1000 NMP/1g ST. Posteriormente, se expuso el lodo residual deshidratado a una temperatura mayor a 85°C, para reducir aún más la cantidad de Coliformes Termotolerantes

b) Contaminación artificial del suelo.

El suelo nativo, de textura Franco arenosa, pasó por un proceso de tamizado en mallas de 2 mm, con la finalidad de establecer un tamaño único del suelo, posteriormente, se estableció que la cantidad de suelo presente en cada microcosmo sea de 50 kilogramos, y que cada suelo tiene que tener una concentración de 30 000 mg de Diésel /kg de suelo,

para ello, se realizó la simulación de derrame de hidrocarburo para obtener esta concentración en cada suelo presente en los microcosmos. En esta etapa, se necesitó establecer una propia metodología para lograr la concentración y homogeneidad del contaminante en el suelo que está presente en cada microcosmo, ante ello, esta etapa se dividió en dos puntos: la determinación de la cantidad de efluente contaminante, y la forma que se mezcló para su homogenización en el suelo.

Para determinar la cantidad de contaminante de efluente, se consideró que la cantidad de suelo a contaminar es de 50 kilogramos, y que se requería obtener una concentración de 30 000 mg de Diésel /kg de suelo, a su vez, se tenía conocimiento que el hidrocarburo a utilizar es el Diésel, y que presentaba una densidad de 832,5 mg/ml; con esta información, la cantidad de contaminante a utilizar por muestra de suelo fue de 1801.80 ml de Diésel, dicho resultado se puede apreciar en la **Ecuación 3**.

Ecuación 3

Determinación de la Cantidad de Diésel por Suelo

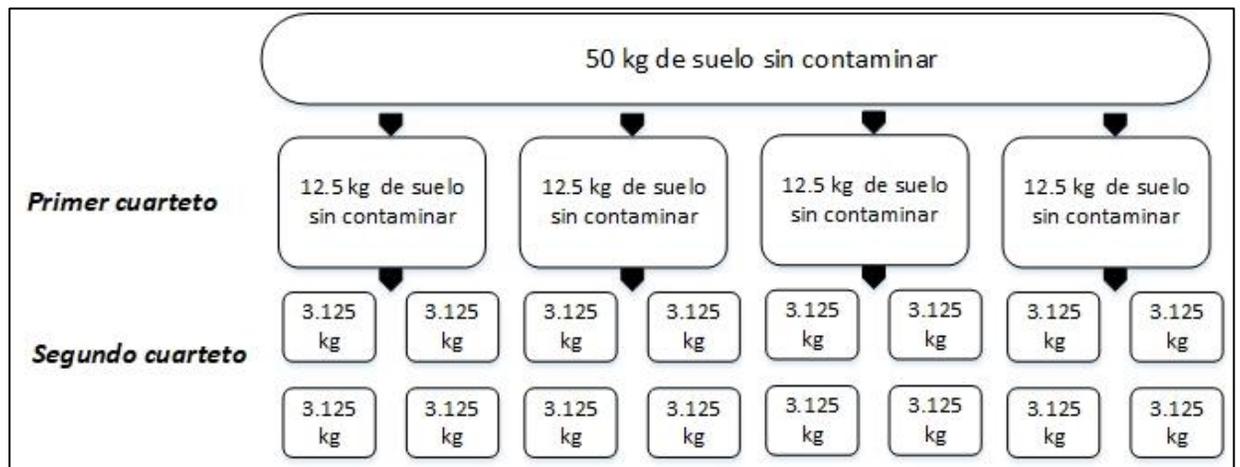
$$\frac{30\,000\text{ mg de Diésel}}{\text{Kg de suelo}} \times 50\text{ kg de suelo} \times \frac{1\text{ ml de Diésel}}{832.5\text{ mg Diésel}} = 1801.80\text{ ml Diésel}$$

Con la determinación de la cantidad necesaria de Diésel a verter en el suelo para lograr obtener una concentración de 30 000 mg de Diésel /kg de suelo, se procedió a realizar la simulación del derrame de petróleo, para lo cual fue necesario homogenizar nuestras muestras. Por cada 50 kilogramos de suelo que estuvo presente en el microcosmo, como ya fue mencionado, se realizará el método de cuarteto de suelos, en la cual realizamos la división de los 50kg de suelos en cuatro (primer cuarteto de suelos), de la cual obtendremos cuatro cuerpos de suelo con 12.5 kg cada uno; por cada 12.5 kg se realiza la

división entre cuatro (segundo cuarteto de suelos), obteniendo cuatro unidades de 3.125 kg cada uno, dicho procedimiento de cuarteo de suelos se puede apreciar en la **Figura 12**.

Figura 12

Cuarteo de Suelo sin Contaminar



Nota. El segundo cuarteo de 3.125 kg, aún continúa siendo suelo sin contaminar.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtuvo el segundo cuarteto de suelos, se procedió a insertar el contaminante mediante la simulación de derrame de hidrocarburos, en donde se insertó el Diésel, de manera que al homogenizar las muestras de suelo de como resultado final 30 000 mg de Diésel/Kg de suelo, dicho proceso se identificó en la **Ecuación 4** para determinar la concentración de dosis del contaminante para el segundo cuarteto:

Ecuación 4

Determinación de Cantidad de Diésel por el Segundo Cuarteto

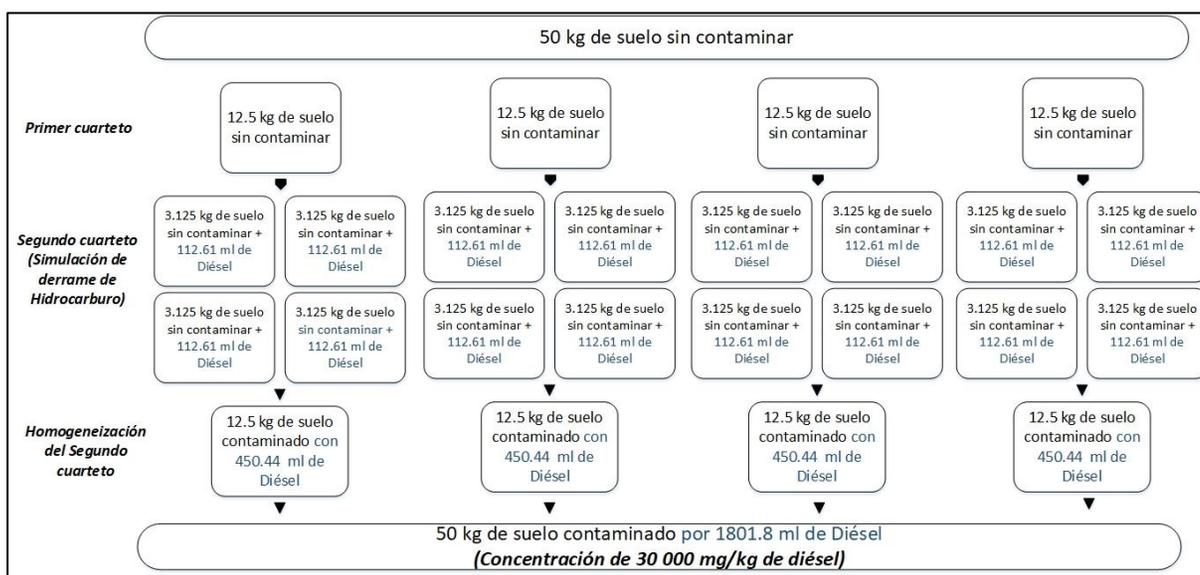
$$\frac{1801.80 \text{ ml Diésel} \times 3.125 \text{ Kg de suelo}}{50 \text{ kg de suelo}} = 112.61 \text{ ml de Diésel}$$

Donde la cantidad de contaminante que se vertió por cada 3.125 kg de suelos es de 112.61 ml de Diésel.

Después que se mezcló los 112.61 ml de Diésel en cada cuarteo de suelo de 3.125 kg, se procedió a su homogenización del segundo grupo del cuarteto al primer grupo de cuarteto del suelo (ver **Figura 13**), se continua con la homogenización a fin de llegar a los 50 kg de suelo con 1801.80 ml de Diésel, que formara la concentración de 30 000 ml de Diésel/ Kg de suelo.

Figura 13

Contaminación Artificial del Suelo



Fuente: Elaboración propia

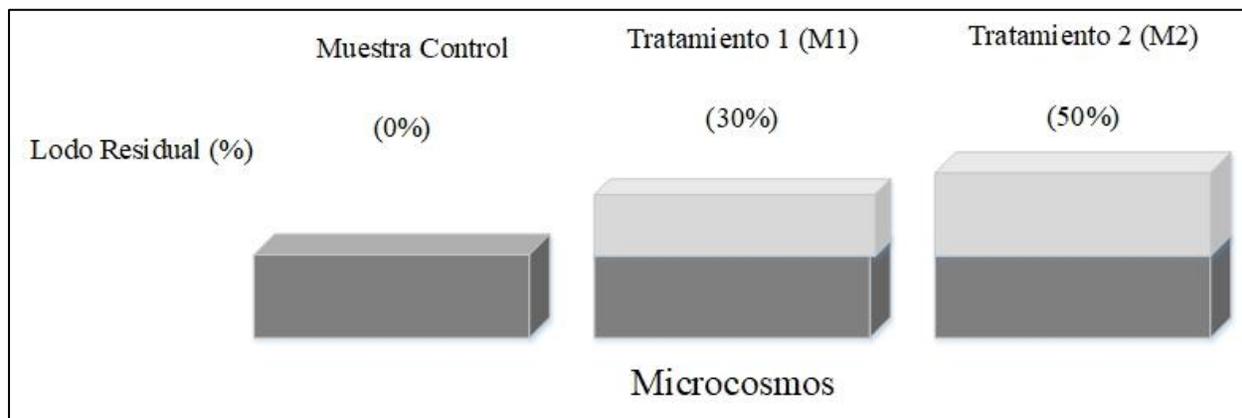
2.4.3. Acondicionamiento del microcosmo e instalaciones de tratamientos

Con el suelo contaminado a concentración de 30 000 ml de Diésel/ Kg de suelo, y con el lodo residual estabilizado, se procedió a tamizar el lodo residual estabilizado en una malla de 2 mm, de igual manera con el suelo contaminado; luego de la tamización, se continuó a realizar la instalación de los microcosmos, cada microcosmo a excepción del microcosmo control estuvo compuesto por la mezcla homogénea del suelo contaminado con el lodo residual estabilizado, para ello, se estableció tres microcosmos (ver **Figura 14**), que conformaron a dos tratamientos más la muestra control de la investigación; la composición de los tratamiento establecidos fueron:

tratamiento 1 (M1) que presenta la proporción de suelo contaminado: lodo residual de 70:30, el tratamiento 2 (M2) presenta una proporción de suelo contaminado: lodo residual de 50:50, y la muestra control que no presenta ningún agregado de lodo residual, por ello, su proporción de suelo contaminado: lodo residual es de 100:000.

Figura 14

Instalación de Tratamientos de Microcosmos



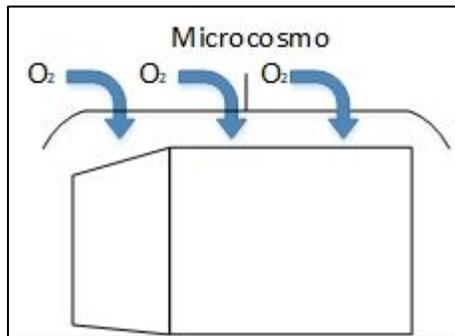
Fuente: Elaboración propia

El lodo residual deshidratado e higienizado que fueron mezclados con suelo contaminado en los microcosmos M1, y M2, fueron expuestos a un proceso de tamizado para establecer un tamaño asimilable y ser homogenizado con el suelo contaminado, este proceso también fue realizado después de establecerse en los microcosmos, en un periodo continuo de cada 6 días. Por otro lado, la aireación es importante en cada microcosmo, debido a que el ingreso de oxígeno es utilizado por los microorganismos nativos del suelo para ayudar a su metabolismo a la degradación del hidrocarburo, produciendo mejoras en los parámetros del suelo, por ello, cada microcosmo presenta una aireación constante, debido a la apertura superior de los microcosmos (ver **Figura 15**), además, se realizó una oxigenación de manera mecánica, mediante el uso de un tambor giratorio y/o tambor rotatorio (ver **Figura 16**). Los microcosmos presentarán un proceso de

humectación cada 4 días, y para evitar la compactación de los mismos, cada uno de los microcosmos pasó por un tamizado general cada 6 días.

Figura 15

Aireación Constante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Aireación Mecánica



Nota. Se puede apreciar en la imagen a un tambor rotatorio, encargado de suministrar oxígeno al suelo dentro de él.

Fuente: Homepost (2020)

Por lo mencionado, en la **Tabla 19** se expresa la proporcionalidad de suelo contaminado: lodo residual por tratamiento, la concentración de hidrocarburo por microcosmos y la frecuencia del tipo de aireación a implementar.

Tabla 19

Manejo de Unidades Experimentales

Tratamiento	(Microcosmo) Suelo contaminado : Lodo Residual	Concentración de hidrocarburos (mg/Kg)	Frecuencia de aireación No mecánica	Frecuencia de aireación mecánica (Tambor Rotatorio)
Muestra Control	100 : 000	30 000	Diario	Interdiario
Tratamiento 1 (M1)	70 : 30	30 000	Diario	Interdiario
Tratamiento 2 (M2)	50 : 50	30 000	Diario	Interdiario

Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Monitoreo de los tratamientos de los microcosmos

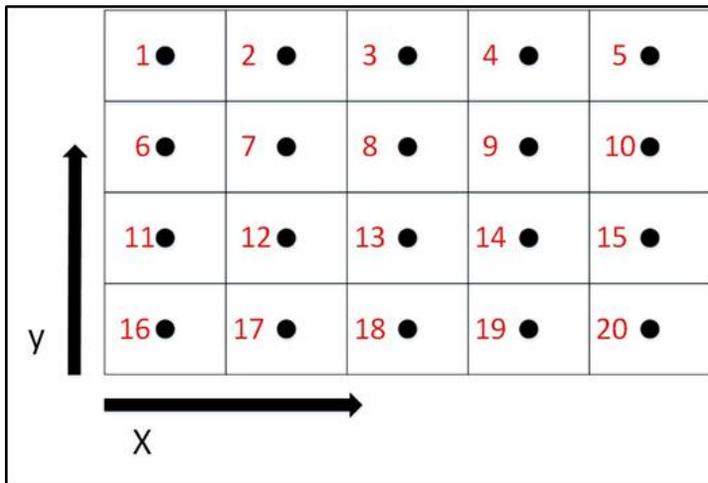
El plan de muestreo inició con un tiempo cero, en la cual, se desarrollará la caracterización física, química, y microbiológica del lodo residual y del suelo nativo a biorremediar (Villena, 2019; Lugo et al., 2017), dichas mediciones fueron realizadas antes de establecer su mezcla y conformar a los microcosmos a analizar.

Una vez iniciada la mezcla y el establecimiento de los microcosmos, se realizó la toma de muestra, que fue compuesta, ya que se analizó la biorremediación tras la aplicación de lodo residual. Se tomó alícuotas de 0-15 cm de profundidad por cada punto seleccionado para el muestreo. Se realizó un muestreo estadístico, con la finalidad de tener un suelo homogéneo y poder determinar modelos matemáticos estableciendo si el contaminante por microcosmo según proporción de lodo residual logra reducir la cantidad de hidrocarburos o no. El patrón del muestreo que se realizó fue aleatorio simple, dado que, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), nos señala que el muestreo aleatorio tiene la propiedad de establecer todas las combinaciones posibles de puntos de muestro, estableciendo un plano cartesiano imaginario en nuestra área de análisis, y que cada cuadrícula del plano sea representada por números aleatorios para que la probabilidad de

ser seleccionados sea la misma. El patrón empleado para la toma de muestra fue realizado por programa de computo que designó los numero al azar, de los cuales, los números seleccionados (1 al 20) deberán ser la cuadrícula para la toma de muestra (ver **Figura 17**), donde las alícuotas fueron tomadas en el centro de cada cuadrícula. La toma de muestras realizadas se señala en la **Tabla 20**, **Tabla 21**, y **Tabla 22**, iniciando desde el día 1 hasta el día 100. Para la obtención de los parámetros, se tomará con la barrena entre 4 a 6 puntos de muestras de suelo de manera aleatoria dentro del microcosmo, en cada punto se deberá juntar las muestras de 0-07 cm y 07-15 cm para su posterior mezcla y transporte al laboratorio.

Figura 17

Patrón de Muestreo



Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos de muestreo, las tomas de muestra y los parámetros a analizar se puede interpretar en las siguientes tablas:

Tabla 20

Periodo de Muestreo en Pretratamiento

Parámetros		Pretratamiento			
		Suelo Nativo	Lodo Residual	Lodo Residual Higienizado	Suelo Nativo Contaminando
Indicadores	Unidades	Periodo de Ensayos (Semanas) ^a			
Potencial de Hidrógeno	pH	Semana 1	Semana 1	Semana 2	Semana 2
Conductividad Eléctrica (CE)	uS/cm	Semana 1	Semana 1	Semana 2	Semana 2
Nitrógeno Total	g/100g	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Carbono Orgánico Total	g/100g	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Materia Orgánica	g/100g	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Temperatura	C°	Semana 1	Semana 1	Semana 2	Semana 2
C:N	%	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Hidrocarburo Totales de Petróleo (TPH)	mg/Kg	-	-	-	Semana 2
Textura					
Arcilloso	g/100g	Semana 1	-	-	Semana 2
Franco	g/100g	Semana 1	-	-	Semana 2
Arenoso	g/100g	Semana 1	-	-	Semana 2
Metales Pesados					
Aluminio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Antimonio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Arsénico	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Bario	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Belirio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Cadmio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Calcio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Cobalto	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Cobre	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Cromo	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Hierro	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Magnesio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Manganeso	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Mercurio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Níquel	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Plata	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Plomo	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2

Nota. ^aLas semanas indicadas corresponden a un periodo anterior a las semanas del Postratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Periodo de Muestreo en Pretratamiento – 02

Parámetros		Pretratamiento			
		Suelo Nativo	Lodo Residual	Lodo Residual Higienizado	Suelo Nativo Contaminando
Indicadores	Unidades	Periodo de Ensayos (Semanas) ^a			
<u>Metales Pesados</u>					
Potasio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Selenio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Sodio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Talio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Vanadio	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
Zinc	mg/Kg	Semana 1	-	Semana 2	Semana 2
<u>Microbiológicos</u>					
Microorganismo heterótrofos	UFC/g	Semana 1	-	-	Semana 2
Coliformes Termotolerantes	NMP/100g	-	Semana 1	Semana 2	-

Nota. ^aLas semanas indicadas corresponden a un periodo anterior a las semanas del Postratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Periodo de Muestreo Postratamiento

Parámetros		Tratamiento		
		Muestra Control (MC)	Tratamiento 1 (M1)	Tratamiento 2 (M2)
Indicadores	Unidades	Periodo de Ensayos (Toma de muestra por día)		
Potencial de Hidrógeno	pH	Todos los días	Todos los días	Todos los días
Conductividad Eléctrica (CE)	uS/cm	Todos los días.	Todos los días.	Todos los días
Nitrógeno Total	g/100g	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.
Carbono Orgánico Total	g/100g	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.
Materia Orgánica	g/100g	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.
Temperatura	C°	Todos los días	Todos los días	Todos los días
C:N	%	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.
Hidrocarburo Totales de Petróleo (TPH)	mg/Kg	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 20, 40, 80, y 100.	Día Inicial, 40, 80, y 100.
Textura				Día 100
Arcilloso	g/100g	-	-	Día 100
Limo	g/100g	-	-	Día 100
Arenoso	g/100g	-	-	Día 100
Metales Pesados				
Metales pesados ^a	mg/Kg	-	-	Día 100
Microbiológicos				
Microorganismo heterótrofos	UFC/g	Día Inicial, 20, 40, y 60.	Día Inicial, 20, 40, y 60.	Día Inicial, 20, 40, y 60.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100g	-	-	Día 100

Nota. ^aLos metales pesados a analizar corresponden a: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, cromo, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Silicio, Sodio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio, Wolframio, y Zinc

Fuente: Elaboración propia.

2.4.5. Determinación de parámetros

a) Determinación del potencial de hidrógeno.

La determinación del Potencial de Hidrógeno en el suelo y lodo residual, como lo señala Zagal y Sadzawka (2007), inició determinando el alcance de mantener el lodo residual de la misma manera de cómo se recibió, y en el caso del suelo, mantenerlo seco a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y con un tamaño de $<2\text{mm}$, con una proporción de muestra de suelo: agua de 1:2,5, para así, con el sobrenadante se pueda obtener el valor del pH- H₂O. Los materiales utilizados son varillas de vidrio o plásticos, medidor de pH, electrodo de vidrios, termómetro, y recipientes de vidrio con un volumen de al menos 100 mL de capacidad.

El procedimiento, como lo detalla Zagal y Sadzawka (2007) inició con pesar 20 gr del lodo residual o 20 g del suelo seco ($40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $< 2\text{ mm}$) a analizar en un recipiente de vidrio con un volumen de al menos 100 mL de capacidad, se agregó 50 ml de agua con una temperatura entre 25°C y 20°C , se agitó de manera vigorosa durante 5 minutos, y dejarlo reposar por más de 1 hora, se calibró el medidor de pH utilizando sus soluciones tampones, para después introducir el medidor del pH en la muestra que se analizó y realizó la lectura del pH cuando se encontraba estabilizada.

b) Determinación de conductividad eléctrica.

Para determinar la Conductividad Eléctrica, como lo explica Zagal y Sadzawka (2007), se debe establecer el principio de sostener la muestra seca a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ del lodo residual y del suelo, y con un tamaño de $<2\text{mm}$, para establecer una relación de muestra a analizar: agua de 1:5 para logra disolver las sales, y posteriormente obtener la Conductividad Eléctrica a 25°C . Los materiales utilizados son un envase de plástico de

base cuadrada con un volumen de 150 mL a más, un agitador manual, papel filtro de 8 μm , y un conductímetro.

El procedimiento, como lo detalla Zagal y Sadzawka (2007) inició con pesar 20 gr de la muestra a analizar en un frasco de volumen de 150 mL, se mezcló con 100mL de agua con una temperatura de 20°C y se prosiguió a tapar el frasco, para agitarlo durante un periodo de 30 minutos, se filtró lo agitado en un papel filtro, y se colectó lo filtrado, y después se recolectó la constante de la celda (K). Se mide la Conductividad eléctrica de las soluciones de cloruro de potasio para después calcular para cada solución la KCI.

Ecuación 5

Constante de Celda

$$K = \frac{CEe}{CEm}$$

donde:

K = constante de la celda

CEe = CE específica de una de las soluciones de KCl en dS/m (mS/cm)

CEm = CE medida de la misma solución de KCl en dS/m (mS/cm)

Se deberá calcular el valor constante de la celda, y ajustar a los valores obtenidos a la constante de la celda del conductivímetro.

c) Determinación del nitrógeno total.

La determinación del Nitrógeno Total, como lo señala La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), se realiza por el método AS-25, tras el procedimiento del digestado, que contiene dos pasos establecidos, para la digestión de la muestra se establece un calentamiento de la muestra por ácido sulfúrico concentrado y otras sustancias como el K₂SO₄ que generan la oxidación de la materia orgánica de la muestra,

y la transformación del nitrógeno orgánico a amonio tras el aumento de la temperatura del uso de catalizadores, para finalizar después por la titulación de amonio liberado. Los materiales a utilizados son una balanza analítica, matraces semimicro Kjeldahí de volumen de 50 ml, aparato de digestión de semimicro Kjeldahí, destilador de arrastre de vapor, matraces Erlenmeyer de volumen de 125 ml, y una microbureta de 10 ml.

El procedimiento a realizar inició, como lo detalla La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), tamizando la muestra por una malla de 60 mm y colocándolo en un frasco micro- Kjeldahl con 1 mg de N, se adicionó 1.1 gramos de la mezcla de los catalizadores K₂SO₄, con 3 ml de ácido sulfúrico concentrado, para ingresar a la digestora hasta que torne de un color claro, se ebulló la muestra durante 1 hora, se dejó enfriar la muestra y se agregó agua de manera suficiente para iniciar una suspensión, se agitó la muestra, y se dejó decantando las partículas de sílice, se dirigió el líquido obtenido a la cámara de destilación, se colocó el tubo de salida del aparato de digestión en un matraz Erlenmeyer de 125 ml con 10 ml de la solución H₃BO₃ más los indicadores, se adicionó 10 ml de NaOH 10 N, se conectó el flujo de vapor y se dio inicio a la destilación, y se tituló lo obtenido con el ácido sulfúrico 0.01N hasta tener el color rosado fuerte.

Ecuación 6

Determinación del Nitrógeno Total

$$\% \text{ Nitrógeno Total} = \frac{(V_m - V_b) \times N \times 14}{p \times 10}$$

donde:

V_m = Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular a las muestras

V_b = Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular al blanco

N = Normalidad exacta del ácido sulfúrico

14 = Peso equivalente del Nitrógeno

10 = Factor de conversión a porcentajes

P = Peso de la muestra del suelo en gramos

d) Determinación del carbono orgánico total.

La determinación del Carbono Orgánico Total, como lo señala La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), se realizó mediante el método de Walkley y Black, ya que se sustenta por la oxidación del carbono orgánico del suelo mediante una disolución de dicromato de potasio y la energía al mezclarlo con ácido sulfúrico, para después adicionar ácido fosfórico y sulfato ferroso, para después introducir un factor de corrección. Los materiales utilizados son matraces Erlenmeyer de 500 ml, bureta para K₂Cr₂O₇ de 50 ml, bureta para FeSO₄·7H₂O, pipeta volumétrica, y una probeta de vidrio con volumen de 25 ml.

El procedimiento a realizar, como lo detalla La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), inició pesando 0.5 gramos de suelo seco, después de haber sido pasado por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo dentro de un matraz Erlenmeyer de volumen de 500 ml, se adicionó 10 ml de dicromato de potasio 1N de manera cuidadosa con el matraz para que tenga contacto total con el suelo, se procedió a añadir 20 ml de H₂SO₄ y se agitó; se dejó reposando por 30 minutos para después añadir 200 ml de agua destilada, se añadió 5 ml de H₃PO₄ de manera concentrada, y posteriormente se agregó 5 a 10 gotas de di fenilamina, y titular con sulfato ferroso hasta llegar al tono verde claro.

Ecuación 7

Determinación del Carbono Orgánico Total

$$\%C \text{ Orgánico} = \left(\frac{B - T}{g} \right) (N)(0.39) mcf$$

donde:

B = volumen de Sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml)

T = Volumen de Sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

N = Normalidad exacta del Sulfato Ferroso

g = Peso de la muestra empleada

mcf = factor de corrección de humedad

Ecuación 8

Relación Materia Orgánica y Carbono Orgánico

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ Carbono Orgánico} \times 1.724$$

e) Determinación de la materia orgánica.

Para obtener el valor de la Materia orgánica, como lo explica Zagal y Sadzawka (2007), se estableció el principio de sostener la muestra seca a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, un tamaño de con $< 2\text{mm}$, además, de ser una muestra libre de materiales inertes y de carbonatos, para después ser calcinado a 550°C para asumir que el material volatilizado es la fracción correspondiente a la materia orgánica. Los materiales utilizados son cápsulas de porcelana de un volumen entre 25 y 50 mL de capacidad, estufa con circulación de aire, desecador con vacío con un agente secante activo, y una mufla.

El procedimiento, como lo detalla Zagal y Sadzawka (2007) consistió en determinar primero si la muestra a analizar contiene carbonatos, para ello, se agregó gotas de ácido clorhídrico a la muestra seca, si aparece burbujas indica que hay carbonatos en el suelo o lodo residual, de no encontrar carbonatos, pusimos la muestra seca a 105°C después de determinar el contenido de agua, posteriormente se procedió a colocar la muestra en la mufla y se subió de manera lenta a 550°C durante 2 horas, y después se disminuyó la

temperatura a menos de 200°C, posteriormente, se sacó la muestra y se colocó en el desecador para dejarlo enfriar hasta mantener una temperatura ambiente, pesar el sólido obtenido y registrarlo. El contenido de materia orgánica en la muestra de suelo, es en base a muestra seca a 105°C±5°C.

Ecuación 9

Determinación de Materia Orgánica

$$\text{Materia Orgánica (\%)} = \frac{d - b}{d - c} \times 100$$

donde:

b = masa, en g, del residuo de calcinación + recipiente

c = masa, en g, del recipiente

d = masa, en g, de suelo seco a 105°C±5°C +recipiente

f) Determinación de la temperatura.

La determinación de la temperatura del suelo, como lo señala Crismatt (2017), se realiza de manera directa, o conocida como, in situ, en nuestra superficie de interés, utilizando un termómetro de suelo, la cual consiste en introducir la varilla detectora del termómetro en el suelo para obtener la temperatura detectada por el instrumento, en este caso, la temperatura señalada será de acuerdo a la profundidad que ingresa la varilla. Ante lo descrito, si ingresa solo 9 centímetros de la varilla y se registra un valor de temperatura, entonces se interpreta que esa temperatura es solo en a nivel de 9 centímetros de profundidad, las cuales puede variar si se realiza en distintas profundidades.

g) Determinación de hidrocarburos totales de petróleo.

La determinación de hidrocarburos de petróleo en suelos se realizó mediante el Método EPA 8015 C, la cual es un método basado en la cromatografía de gases para

hidrocarburos de petróleo, específicamente, Diésel. Detecta hidrocarburos con átomos de carbonos entre C10 a C28, basándose en la implementación de un Cromatógrafo de gases Clarus, el cual utiliza un detector de llamas en alto rango (FID).

El EPA 8015C, es manejado como el método CG-FID, de las cuales el procedimiento para la determinación de hidrocarburos es mencionado por Méndez et al. (2011) de la siguiente manera:

Se recolectó la muestra a analizar, en proporciones de 40 gramos mantenidas en frascos para almacenarse a 4°C. Se separó del suelo toda la cantidad posible de hidrocarburos aplicando como solvente el n-pentano y utilizándolo en un sistema de extracción automática Soxhlet (al aplicar un solvente separa una fracción específica de una muestra sin afectar a la siguiente fracción de la muestra sin utilizar); este método es preciso en temas de lixiviación sólido líquido. El método Soxhlet consistió en deshidratar durante 4 horas a 400°C el sulfato de sodio anhidro, para ser aplicado en una mezcla de 10 gramos de suelo a analizar, conllevando una proporción de muestra proporcional a 1:1 del suelo a analizar con el sulfato de sodio anhidro. Esta nueva mezcla se procedió a pesar dentro de un dedal de extracción, para ser llevado al extractor con 50 ml de n-pentano en un Baker, colocándolo sumergido por 1 hora correspondiendo a una posición de ebullición, y se añade 1 hora más la extracción en posición de enjuague.

Culminado este procedimiento, se separó el dedal y se vertió el extracto formado en un balón de laboratorio. El extracto obtenido es inyectado en un cromatógrafo de gases CG-FID, con la facultad de detectar hidrocarburos con moléculas entre C5 y C15. Dentro del cromatógrafo de gases, el gas nitrógeno vaporizó la muestra para ser transportada en las columnas del cromatógrafo en la cual se produce la separación de los hidrocarburos.

Estos fueron captados por el FID (ionización de la flama), y enviaron una señal que es procesada por el sistema integrador de datos del CG-FID, la cual presentó los datos de manera cuantitativa en la computadora, luego de ser comparado por datos básicos de un cronograma estándar.

h) Determinación de la textura del suelo.

La determinación de la textura del se realizó mediante el método de Bouyocus, para este método es necesario tener probetas de 100 ml, barrilla de metal agitadora, las muestras de suelo a analizar, hexametafosfato sódico, balanza de precisión, agua destilada, batidora de laboratorio, densímetro, alcohol arnilico y termómetro. La Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2015) nos indica el procedimiento del método de Bouyocus se la siguiente manera:

Se inició pesando 40 gramos de la muestra del suelo, y se añadió 100 ml de solución calgón de la cual se dejó que se mezclen durante 10 minutos en el recipiente donde se contiene la muestra del suelo. Se transfirió el contenido al recipiente de la batidora y se añadió agua destilada hasta el ras de la mitad del recipiente y se puso en funcionamiento con la batidora durante 5 a 10 minutos. Se transfirió esta muestra a una probeta de 1000 ml, de la cual el vacío fue completado con agua destilada, al observar la presencia de espuma se agregó unas gotas de alcohol arnilico. Se agitó la muestra obtenida con una varilla agitadora para después introducir el densímetro. La lectura del densímetro se realizó en los siguientes tiempos: 30 segundos, 1 minuto, 3 minutos, 10 minutos, 90 minutos y a las 8 horas. El mismo procedimiento se realizó en el blanco. Los resultados obtenidos fueron guardados en la tabla de fórmulas presentes por el laboratorista, la cual obtuvo el porcentaje en peso y el diámetro corregido de todo lo analizado. Se realizó las pendientes

de las intersecciones de datos y en los puntos de cortes con las columnas de arcilla y limo se determinó el valor del porcentaje en pesa que indica. El primer valor que se obtiene es el porcentaje de arcilla, el valor obtenido en la intersección de la columna de limo se le resta el valor obtenido de la arcilla, siendo la diferencia el porcentaje en peso del Limo; y la diferencia del 100% con los valores de arcilla y limo correspondió al porcentaje en peso de arena.

i) Determinación de metales pesados.

La determinación de los metales pesados, como lo detalla la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2007) se realiza mediante la espectrometría de masas de plasma, ya que tiene la capacidad para poder determinar la mayor cantidad de elementos en todo tipo de muestras. Los materiales utilizados son un espectrómetro de masas de plasma, y un suministro de gas argón con una pureza de 99%.

El procedimiento inició con la configuración del espectrómetro, como instrumento principal del análisis, se esperó 30 minutos a que el equipo se encuentre calibrado mediante la solución de ajuste, medido cuatro veces, se enjuagó el sistema con la solución de enjuague del blanco, se nebulizó cada muestra hasta que indique un estado estable en el instrumento, antes de obtener los datos, se calibró el equipo en promedio de 1 vez cada 10 muestras analizadas.

Las unidades analizadas dependerán del estado de la muestra, si es una muestra sólida, se debe establecer las unidades de mg/Kg.

Ecuación 10

Concentración de Muestras en Espectrómetro

$$\text{Concentración (peso seco)} \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{CxV}{WxS}$$

donde:

C = Concentración de digestión (mg / L)

V= Volumen final en litros después de la preparación de la muestra

W = Peso en kg de muestra húmeda

$$S = \frac{\%Solidos}{100}$$

j) Determinación de microorganismos heterótrofos.

La determinación de los microorganismos Heterótrofos, como lo menciona Gutiérrez (2010), inició preparando disoluciones de 01 gramos de la muestra a analizar para posteriormente introducirlo dentro de un tubo de ensayo que contiene 9 ml de agua destilada estéril, se estableció que el método indicara entre 30 a 300 colonias por placa, para ello, se tomó una pipeta de 0.1 a 0.5 ml y se colocó sobre la superficie de la placa de agar R2A que se encontraba presecada, con una varilla, se distribuyó el inóculo sobre el medio, con otra pipeta se trasladó la muestra entre 0.1 y 0.5 ml hacia la superficie de agar, se liberó ligeramente la muestra desde el centro de la placa hasta 0.5 cm de los bordes de la misma, se continuó con una incubación de 40 horas en una temperatura de 35°C, posteriormente a la incubación se realizó el conteo de las colonias y su registro final.

k) Determinación de Coliformes Termotolerantes.

Para determinar la cantidad de Coliformes Termotolerantes, es necesario establecer un proceso para su identificación, para ello, la Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2018), nos menciona que la prueba más relevante para la determinación de Coliformes Termotolerantes es la siembra en un medio de cultivo de agar cromo génico, la producción de colonias de color rojo salmonado representa a las bacterias Coliformes y la producción de colonias de color violeta azulado representa a la presencia de Escherichia Coli; para

determinar las colonias, se procedió a establecer una solución de la muestra y poder filtrar 100 ml de la misma en un equipo de filtración de membrana para la disolución de la muestra en membranas de filtración, cada membrana de filtración fue colocado en placas Petri con agar cromogénico, estas placas Petri pasaron a una incubación a 36°C durante 21 horas, para después de este periodo, realizar el recuento de las unidades formadoras de colonias.

2.4.6. Análisis de datos

El análisis de los datos cuantitativos obtenidos de las dimensiones de las variables de investigación, fueron analizadas e interpretadas con la implementación de la estadística descriptiva e inferencial, con el uso del software Excel 2019, los resultados serán representados en tablas y figuras, además, se analiza los resultados de la remoción de hidrocarburos, recurriendo a la prueba de Análisis de Varianza denominada ANOVA, que como lo establece Cabrera (2013), ayuda a descomponer toda variabilidad que se pueda observar relacionadas a los diversos factores estudiados junto a sus interacciones, y posteriormente compararlas para determinar su significado en la estadística; la estadística a implementar podrá dar la estimación real de las concentraciones finales de los indicadores correspondiente a nuestras dimensiones de estudio.

2.5 Aspectos Éticos

En el presente trabajo de investigación realizada, fue efectuado respetando los trabajos de investigación de todos los autores citados, de igual manera, cumpliendo al detalle las normas establecidas por la Universidad Privada del Norte, a su vez, brindando información confiable en los resultados establecidos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Higienización del Lodo Residual para su Aplicación en los Suelos Contaminados con Hidrocarburos.

El lodo residual obtenido en la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales de Santa Clara, pasó por un proceso de higienización para obtener lodo residual estabilizado y ser dispuestos en los microcosmos; es importante destacar que el lodo residual fue expuesto a temperaturas mayores a 85°C por un tiempo mayor al de 1 hora; la variación obtenida a la higienización se puede apreciar en la **Tabla 23**.

Tabla 23

Variación de Coliformes Termotolerantes en Lodo Residual

Parámetro : Coliformes Termotolerantes (NMP/100g)	
Lodo Residual No Higienizado	Lodo Residual Higienizado
9 200 000	<18

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo una reducción del 99.99% de los Coliformes Termotolerantes presentes en el lodo residual, por otro lado, con el lodo residual higienizado obtenido, se reportó los niveles de los parámetros físicos, químicos, y microbiológico que son representados en la **Tabla 24**, y **Tabla 25**.

Tabla 24

Caracterización del Lodo Residual Higienizado

Indicadores	Unidad	Lodo Residual Higienizado
Potencial de Hidrógeno	pH	6.71
Conductividad Eléctrica	uS/cm	845
Nitrógeno Total	g/100g	5.34
Carbono Orgánico Total	g/100g	39.12
Materia Orgánica	g/100g	67.45
Temperatura	C°	24
C : N	%	7.32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Caracterización del Lodo Residual Higienizado - 02

Indicadores	Unidad	Lodo Residual Higienizado
Metales Pesados		
Aluminio	mg/Kg	4 785
Antimonio	mg/Kg	0.7851
Arsénico	mg/Kg	5.785
Bario	mg/Kg	119.3
Belirio	mg/Kg	< 0.015
Cadmio	mg/Kg	1.788
Calcio	mg/Kg	37 660
Cobalto	mg/Kg	2.939
Cobre	mg/Kg	111.6
Cromo	mg/Kg	269.3
Hierro	mg/Kg	5 462
Magnesio	mg/Kg	4 758
Manganeso	mg/Kg	204.6
Mercurio	mg/Kg	0.6272
Níquel	mg/Kg	35.07
Plata	mg/Kg	1.156
Plomo	mg/Kg	44.72
Potasio	mg/Kg	5 085
Selenio	mg/Kg	1.91
Sodio	mg/Kg	1 628
Talio	mg/Kg	0.04716
Vanadio	mg/Kg	14.48
Zinc	mg/Kg	687.06
Microbiológico		
Pseudomonas sp.	UFC/g	1.50 x 10 ⁵

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Determinación de la Variación de la Concentración de Hidrocarburos.

Se determinó la cantidad de Hidrocarburos Totales de Petróleo mediante la técnica del microcosmo tras la aplicación de lodo residual, en el transcurso de 100 días en el que se desarrolló el experimento, la cual se representa en la **Tabla 26**.

Tabla 26

Variación de la Concentración de Hidrocarburos

Microcosmo		Concentración de Hidrocarburos (mg/kg)				
Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Inicial	Día 20	Día 40	Día 80	Día 100
100 : 000	Control	22450.768	18999.162	19829.40	20394.90	-
70 : 30	M1	22450.768	11813.553	8137.50	4786.01	2624
50 : 50	M2	22450.768	-	7054.60	3346.10	1121

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los microcosmos que presentaron una aplicación de lodo residual, obtuvieron una reducción constante en la concentración de Hidrocarburos de Petróleo durante los 100 días de análisis, a su vez, el microcosmo control, que no obtuvo algún agregado del lodo residual, sufrió una aparente reducción de la concentración de hidrocarburos, pero fue presentando un aumento del mismo en los días 40, y 80 de análisis.

3.3. Determinación de la Eficacia de Degradación de la Concentración de Hidrocarburos.

En virtud a lo descrito en la **Tabla 26** y a las expresiones señaladas en la **Ecuación 11**, se puede interpretar en la **Tabla 27**, y **Tabla 28** el porcentaje de biorremediación de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el transcurso de 100 días en el que se desarrolló el experimento. El porcentaje de remoción de hidrocarburos señalados, son obtenidos en base la concentración de hidrocarburos inicial del experimento.

Ecuación 11

Porcentaje de Remoción de Hidrocarburos

$$\frac{\text{Concentración Inicial HTP} - \text{Concentración Final HTP}}{\text{Concentración Inicial HTP}} \times 100 = \text{Remoción del Hidrocarburo (\%)}$$

Tabla 27

Eficacia de Degradación de Hidrocarburos

Microcosmo		Concentración de Hidrocarburos (mg/kg)					
		Día 20			Día 40		
Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Concentración Inicial	Concentración Final	Remoción del Contaminante (%)	Concentración Inicial	Concentración Final	Remoción del Contaminante (%)
100 : 000	Control	22450.768	18999.16	15.37	22450.768	19829.40	11.68
70 : 30	M1	22450.768	11813.55	47.38	22450.768	8137.50	63.75
50 : 50	M2	22450.768	-	-	22450.768	7054.60	68.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Eficacia de Degradación de Hidrocarburos - 02

Microcosmo		Concentración de Hidrocarburos (mg/kg)					
		Día 80			Día 100		
Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Concentración Inicial	Concentración Final	Remoción del Contaminante (%)	Concentración Inicial	Concentración Final	Remoción del Contaminante (%)
100 : 000	Control	22450.768	20394.90	9.16	-	-	-
70 : 30	M1	22450.768	4786.01	78.68	22450.768	2624	88.31
50 : 50	M2	22450.768	3346.10	85.10	22450.768	1121	95.01

Fuente: Elaboración propia.

Los microcosmos M1, y M2 obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de remoción de hidrocarburos durante los primeros 40 días de análisis, a su vez, superaron el 75% de remoción de hidrocarburos en el día 80 de análisis; por otro lado, el microcosmo control presentó una remoción del hidrocarburo del 9.16% durante el día 80 de análisis.

3.4. Determinación de las Propiedades Físicas, Químicas, y Microbiológicas en el Pretratamiento y Postratamiento de los Microcosmos.

Tabla 29

Variación de los Parámetros a lo Largo de los Tratamientos

Parámetros		Suelo Nativo	Lodo Residual Higienizado ^a	Suelo Nativo Contaminado	Muestra Control	Tratamiento 1 (M1)	Tratamiento 2 (M2)
Indicadores	Unidad	Periodo de Ensayo en el día 100					
Potencial de Hidrógeno	pH	6.82	6.71	6.81	8.02	7.70	7.53
Conductividad Eléctrica	uS/cm	561	845	556	657	2242	2963
Nitrógeno Total	g/100g	0.04	5.34	0.05	0.06	0.26	0.37
Carbono Orgánico Total	g/100g	1.58	39.12	2.91	2.48	2.22	2.63
Materia Orgánica	g/100g	2.73	67.45	5.02	-	-	7.06
Temperatura	C°	22	24	22	25	26	27
C : N	%	39.5	7.32	58.2	41.33	8.54	7.11
Hidrocarburo Totales de Petróleo (TPH)	mg/Kg	-	-	22 450.768	20394.90	2624	1121
Textura		Franco Arenoso	-	-	-	-	Franco Arenoso
Arcilloso	g/100g	16	-	-	-	-	6
Limo	g/100g	20	-	-	-	-	34
Arenoso	g/100g	64	-	-	-	-	60
Microbiológico							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100g	-	<18	-	-	-	<18
Pseudomonas sp.	UFC/g	2.50 x 10 ³	1.50 x 10 ⁵	2.50 x 10 ³	4.50 x 10 ³	7.50 x 10 ⁵	1.50 x 10 ⁵

Nota. ^aEl lodo residual, antes de ser higienizado, presentó una cantidad de Coliformes Termotolerantes de 9 200 000 NMP/100g.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30

Variación de los Metales Pesados a lo Largo de los Tratamientos

Parámetros		Suelo Nativo	Lodo Residual Higienizado	Suelo Nativo Contaminado	Muestra Control	Tratamiento 1 (M1)	Tratamiento 2 (M2)
Indicadores	Unidad						
Metales pesados		Periodo de Ensayo en el día 100					
Aluminio	mg/Kg	13 984	4 785	10 905	-	-	11 024
Antimonio	mg/Kg	< 0.020	0.7851	< 0.020	-	-	< 0.020
Arsénico	mg/Kg	19.34	5.785	15.26	-	-	16.25
Bario	mg/Kg	71.66	119.3	69.37	-	-	899
Belirio	mg/Kg	< 0.015	< 0.015	< 0.015	-	-	< 0.015
Cadmio	mg/Kg	0.4957	1.788	0.4303	-	-	0.4373
Calcio	mg/Kg	11 641	37 660	10 656	-	-	54 626
Cobalto	mg/Kg	7.254	2.939	8.188	-	-	5.082
Cobre	mg/Kg	37.49	111.6	31.84	-	-	28.51
Cromo	mg/Kg	3.412	269.3	<0.050	-	-	29.91
Hierro	mg/Kg	18 562	5 462	17 372	-	-	11 729
Magnesio	mg/Kg	7 989	4 758	7 030	-	-	13 533
Manganeso	mg/Kg	432.3	204.6	448.6	-	-	387.5
Mercurio	mg/Kg	< 0.010	0.6272	< 0.010	-	-	0.2179
Níquel	mg/Kg	5.822	35.07	6.275	-	-	8.649
Plata	mg/Kg	< 0.0050	1.156	< 0.0050	-	-	< 0.0050
Plomo	mg/Kg	18.63	44.72	16.71	-	-	21.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Variación de los Metales Pesados a lo Largo de los Tratamiento – 02

Parámetros		Suelo Nativo	Lodo Residual	Suelo Nativo Contaminado	Muestra Control	Tratamiento 1 (M1)	Tratamiento 2 (M2)
Indicadores	Unidad						
Metales pesados		Periodo de Ensayo en el día 100					
Potasio	mg/Kg	1 671	5 085	1 547	-	-	1 788
Selenio	mg/Kg	< 0.050	1.910	< 0.050	-	-	< 0.050
Sodio	mg/Kg	284.7	1 628	432.9	-	-	341.10
Talio	mg/Kg	< 0.0250	0.04716	< 0.0250	-	-	< 0.0250
Vanadio	mg/Kg	40.94	14.48	31.04	-	-	24.10
Zinc	mg/Kg	73.79	687.06	71.16	-	-	121.59

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Potencial de Hidrógeno

Se determinó el potencial de hidrógeno de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 32**, y **Tabla 33** sus valores obtenidos tras el promedio de resultados de cada 5 días de estudio.

Tabla 32

Variación del Potencial de Hidrógeno

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Promedio cada 5 días)										
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
100 : 000	Control	6.81	6.81	6.87	6.82	7.19	7.41	7.19	7.27	7.76	7.92	8.04
70 : 30	M1	6.63	6.58	6.62	6.72	6.98	7.19	6.96	7.08	7.26	7.41	7.48
50 : 50	M2	6.65	6.63	6.63	6.66	6.83	7.01	6.89	6.90	7.12	7.17	7.22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Variación del Potencial de Hidrógeno - 02

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Promedio cada 5 días)										
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)										
		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
100 : 000	Control	8.13	8.20	8.16	8.13	8.09	8.03	8.11	8.18	8.01	8.02	
70 : 30	M1	7.45	7.45	7.51	7.58	7.58	7.46	7.67	7.83	7.65	7.61	
50 : 50	M2	7.18	7.15	7.23	7.30	7.35	7.39	7.53	7.57	7.54	7.49	

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de hidrógeno del microcosmo control, presentó un aumento del mismo durante los 100 días de análisis, a su vez, presentó siempre el potencial de hidrogeno más alto en referencia a los resultados obtenidos en el microcosmo M1, y M2; por otro lado, los microcosmos con aplicación de lodo residual, presentaron valores del potencial de hidrógeno cercanos durante el tiempo de análisis, presentando una variación cercana a 0.25 de pH.

3.4.2. Conductividad Eléctrica

Se determinó la conductividad eléctrica de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 34**, y **Tabla 34** sus valores obtenidos tras el promedio de resultados de cada 5 días de estudio.

Tabla 34

Variación de la Conductividad Eléctrica

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Promedio cada 5 días)										
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
100 : 000	Control	467	458.2	510.4	612.4	589.4	548	565.6	551.4	594.4	568.2	595.6
70 : 30	M1	1127	1173.4	1146.6	1448.0	1324.8	1378.6	1329.0	1302.2	1536.0	1594.2	1648
50 : 50	M2	1507	1564.2	1992.6	2114.6	2092.6	1967	2071.2	2181.0	2238.8	2190.2	2396

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

Variación de la Conductividad Eléctrica – 02

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Promedio cada 5 días)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
100 : 000	Control	602.0	645.4	627.6	616.4	611.0	553.4	500.0	593.0	604.0	620.8
70 : 30	M1	1613.4	1743.2	1859.0	2508.2	2402.5	2354.4	2224.4	2251.0	2325.6	2251.0
50 : 50	M2	2329.8	2363.0	2638.6	2817.4	2745.0	2782.2	2606.6	2822.8	2914.8	2996.2

Fuente: Elaboración propia.

La conductividad eléctrica del microcosmo M2, presentó los valores más altos durante los 100 días de análisis, seguido por el microcosmo M1; por otro lado, el microcosmo control, que no presentó ninguna dosis de lodo residual, obtuvo valores constantes de conductividad eléctrica entre 450 a 645 uS/cm.

3.4.3. Nitrógeno Total

El análisis del Nitrógeno Total del suelo nativo sin contaminar es de 0.04 g/100g, que, al ser contaminado de manera artificial, el suelo nativo contaminado presentó una cantidad de Nitrógeno Total de 0.05 g/100g, siendo la concentración inicial para cada microcosmo. Ante lo mencionado, el microcosmo M1 y M2 están conformados con la aplicación del lodo residual deshidratado higienizado, dicho lodo residual aplicado presenta una concentración de 5.34 g/100g de Nitrógeno Total. Se determinó la variación del Nitrógeno Total de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 36**, y **Figura 18**.

Tabla 36

Variación del Nitrógeno Total

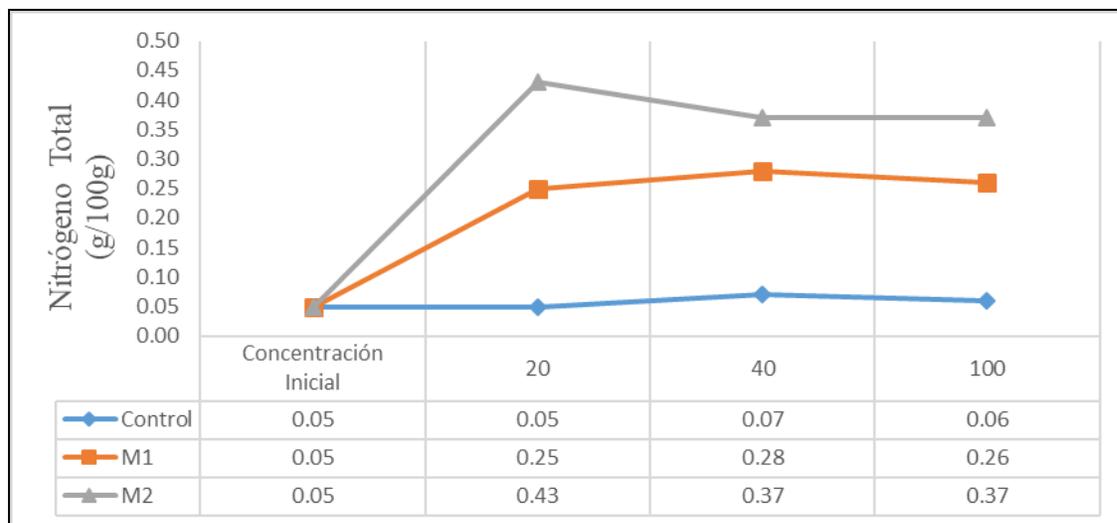
Suelo Nativo sin Contaminar	Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (días)						
			Parámetro : Nitrógeno Total (g/100g)						
			Concentración Inicial	20	% Δ ^a	40	% Δ	100	% Δ
0.04	100 : 000	Control	0.05	0.05	0.0	0.07	40	0.06	20
	70 : 30	M1	0.05	0.25	400	0.28	460	0.26	420
	50 : 50	M2	0.05	0.43	760	0.37	640	0.37	640

Nota. ^aSignifica el porcentaje de variación respecto al Nitrógeno Total inicial

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Variación del Nitrógeno Total



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos del Nitrógeno Total presente en los microcosmos con dosis de lodo residual, M1 y M2, experimentaron un aumento mayor al del 400% durante los 100 días de análisis respecto a la concentración inicial, no obstante, los valores del microcosmo control fueron constante, sin presentar alguna variación significativa.

3.4.4. Carbono Orgánico Total

El análisis del Carbono Orgánico Total del suelo nativo sin contaminar es de 1.58 g/100g, que, al ser contaminado de manera artificial, el suelo nativo contaminado presentó una cantidad de Carbono Orgánico Total de 2.91 g/100g, siendo la concentración inicial para cada microcosmo. Ante lo mencionado, el microcosmo M1 y M2 están conformados con la aplicación del lodo residual deshidratado higienizado, dicho lodo residual presenta una concentración de 39.12 g/100g de Carbono Orgánico Total. Se determinó la variación del Carbono Orgánico Total de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 37**, y **Figura 19**.

Tabla 37

Variación del Carbono Orgánico Total

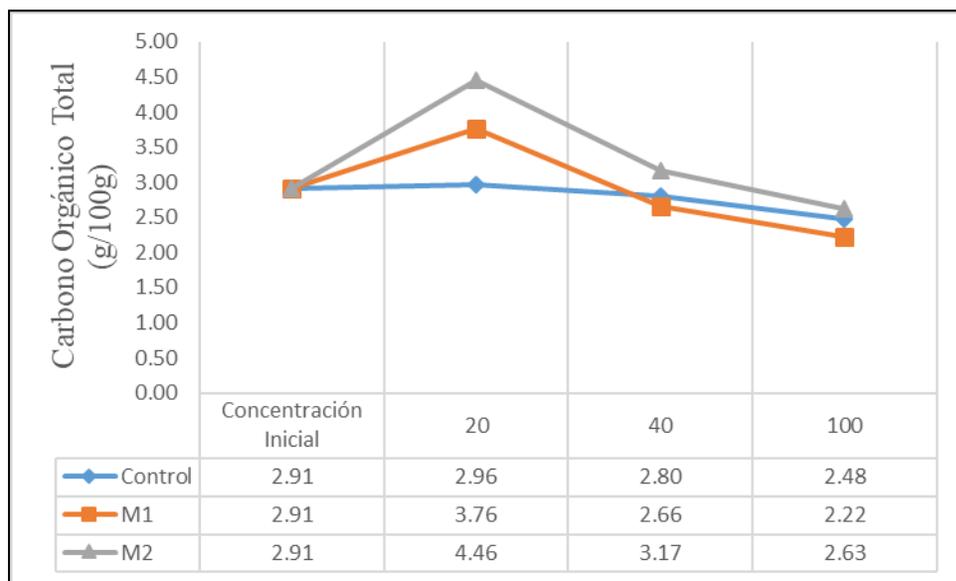
Suelo Nativo sin Contaminar	Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (días)							
			Parámetro : Carbono Orgánico Total (g/100g)							
			Concentración Inicial	20	% Δ^a	40	% Δ	100	% Δ	
1.58	100 : 000	Control	2.91	2.96	1.72	2.80	-3.78	2.48	-14.78	
	70:30	M1	2.91	3.76	29.21	2.66	-8.59	2.22	-23.71	
	50:50	M2	2.91	4.46	53.26	3.17	8.93	2.63	-9.62	

Nota. ^aSignifica el porcentaje de variación respecto al Carbono Orgánico Total

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Variación del Carbono Orgánico Total



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos del Carbono Orgánico Total presente en los microcosmos con dosis de lodo residual, M1 y M2, experimentaron un aumento mayor al 25% durante el día 20 de análisis,

no obstante, los valores del microcosmo M1 presentaron una reducción respecto a la concentración inicial en los días de análisis 40, y 100.

3.4.5. *Materia Orgánica*

El análisis de la materia orgánica del suelo nativo sin contaminar, es de 2.73 g/100g, y que, al ser contaminado de manera artificial, el suelo nativo contaminado presentó una cantidad de materia orgánica de 5.02 g/100g, siendo la concentración inicial para cada microcosmo. Ante lo mencionado, el microcosmo M1 y M2 están conformados con la aplicación del lodo residual deshidratado higienizado, dicho lodo residual presentó una cantidad de materia orgánica de 67.45 g/100g. En el día 100 de análisis, el microcosmo con mayor aplicación de lodo residual presentó la cantidad de materia orgánica de 7.06 g/100g.

3.4.6. *Temperatura*

Se determinó la temperatura de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 38**, y **Tabla 39** sus valores obtenidos tras el promedio de resultados de cada 5 días de estudio.

Tabla 38

Variación de la Temperatura

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Semana)										
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
100 : 000	Control	21.0	21.8	21.2	16.8	19.8	22.0	21.8	22.6	21.8	22.2	22.0
70 : 30	M1	22.0	22.6	21.8	21.3	20.2	22.8	23.0	23.6	22.2	22.6	22.6
50 : 50	M2	22.0	22.0	23.0	22.9	21.6	23.4	24.4	24.8	22.6	23.2	23.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Variación de la Temperatura – 02

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Semana)										
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)										
		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
100 : 000	Control	21.7	21.2	23.0	23.6	23.2	24.0	23.6	23.8	24.4	24.2	
70 : 30	M1	22.5	22.6	24.4	25.0	24.0	24.6	24.6	24.0	25.0	26.0	
50 : 50	M2	23.0	23.4	24.8	25.6	25.0	25.8	25.2	24.4	25.6	26.6	

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura del microcosmo M2, presentó los valores más altos durante los 100 días de análisis, seguido por el microcosmo M1; por otro lado, el microcosmo control, que no presentó ninguna dosis de lodo residual, obtuvo valores constantes de su temperatura durante el desarrollo experimental.

3.4.7. Relación C: N

El análisis de la relación Carbono: Nitrógeno del suelo nativo sin contaminar es de 39.5, que, al ser contaminado de manera artificial, el suelo nativo contaminado presentó una cantidad de 58.20, siendo la relación C: N inicial para cada microcosmo. Ante lo mencionado, el microcosmo M1 y M2 están conformados con la aplicación del lodo residual deshidratado higienizado, dicho lodo residual deshidratado presenta una relación C: N de 7.32. Se determinó la variación de la relación C: N de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 40**, y **Figura 20**.

Tabla 40

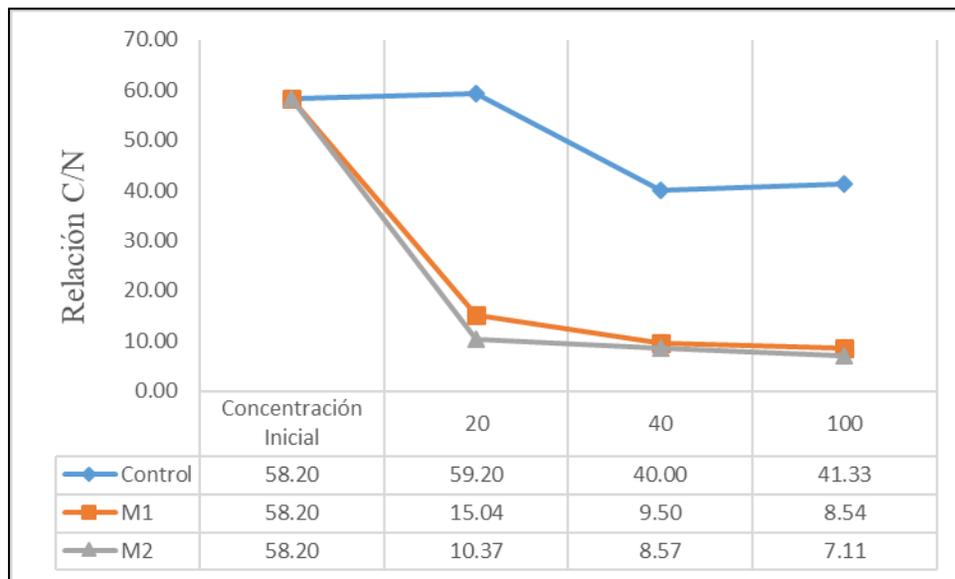
Variación de la Relación C: N

Suelo Nativo sin Contaminar	Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (días)							
			Parámetro : Relación Carbono Orgánico Total / Nitrógeno Total							
			Concentración Inicial	20	% de Aumento	40	% de Aumento	100	% de Aumento	
	100 : 000	Control	58.20	59.20	1.72	40.00	-31.27	41.33	-28.98	
39.5	70:30	M1	58.20	15.04	-74.16	9.50	-83.68	8.54	-85.33	
	50:50	M2	58.20	10.37	-82.18	8.57	-85.28	7.11	-87.79	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Variación de la Relación C: N



Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos de la relación C: N presente en los microcosmos con dosis de lodo residual, M1 y M2, experimentaron una reducción de las mismas durante los 100 días de análisis respecto a la relación C: N inicial; por otro lado, la relación C: N del microcosmo control sufrió

un aumento durante el día 20 de análisis, para posteriormente reducir su relación C: N en un 28% durante el día 100 de análisis.

3.4.8. Textura

Los resultados de la textura del suelo señalan que el suelo nativo es del tipo Franco Arenosos, presentando el 64% Arena, 20% Limo, y 16% Arcilla. Durante el periodo de análisis, el microcosmo M2, el cuál presentó un mayor porcentaje de biorremediación, al ser analizado su textura, indica que es del tipo Franco Arenoso, presentando el 6% Arcilla, 34% Limo, y 60% Arena.

Tabla 41

Textura del Suelo

Tratamiento	Parámetro: Textura (g/100g)			Tipo de Suelo
	Arcilla	Limo	Arena	
Suelo Nativo	16	20	64	Franco Arenoso
Microcosmo (M2)	6	34	60	Franco Arenoso

Fuente: Elaboración propia.

3.4.9. Metales Pesados

Se determinó la cantidad de las concentraciones de los metales pesados en el microcosmo con mayor dosis de lodo residual, el cual también fue el que presentó mayor porcentaje de biorremediación, esto con el fin de identificar las variaciones de los metales pesados en referencia al suelo nativo, suelo nativo contaminado, y el lodo residual higienizado que fue aplicado al microcosmo, la cual se representa en la **Tabla 42**.

Tabla 42

Variación de los Metales Pesados

Indicadores	Unidad	Suelo Nativo	Lodo Residual Higienizado	Suelo Nativo Contaminado	Microcosmo M2
Aluminio	mg/Kg	13 984	4 785	10 905	11 024
Antimonio	mg/Kg	< 0.020	0.7851	< 0.020	< 0.020
Arsénico	mg/Kg	19.34	5.785	15.26	16.25
Bario	mg/Kg	71.66	119.3	69.37	899
Belirio	mg/Kg	< 0.015	< 0.015	< 0.015	< 0.015
Cadmio	mg/Kg	0.4957	1.788	0.4303	0.4373
Calcio	mg/Kg	11 641	37 660	10 656	54 626
Cobalto	mg/Kg	7.254	2.939	8.188	5.062
Cobre	mg/Kg	37.49	111.6	31.84	28.51
Cromo	mg/Kg	3.412	269.3	<0.050	29.91
Hierro	mg/Kg	18 562	5 462	17 372	11 729
Magnesio	mg/Kg	7 989	4 758	7 030	13 533
Manganeso	mg/Kg	432.3	204.6	448.6	387.5
Mercurio	mg/Kg	< 0.010	0.6272	< 0.010	0.2179
Níquel	mg/Kg	5.822	35.07	6.275	8.649
Plata	mg/Kg	< 0.0050	1.156	< 0.0050	< 0.0050
Plomo	mg/Kg	18.63	44.72	16.71	21.19
Potasio	mg/Kg	1 671	5 085	1 547	1 788
Selenio	mg/Kg	< 0.050	1.91	< 0.050	< 0.050
Sodio	mg/Kg	284.7	1 628	432.9	341.1
Talio	mg/Kg	< 0.0250	0.04716	< 0.0250	< 0.0250
Vanadio	mg/Kg	40.94	14.48	31.04	24.10
Zinc	mg/Kg	73.79	687.06	71.16	121.59

Fuente: Elaboración propia.

3.4.10. Microbiológico

a) *Pseudomonas* sp.

El análisis de las *Pseudomonas* sp. del suelo nativo sin contaminar es de 2.50×10^3 UFC/g, que, al ser contaminado de manera artificial, el suelo nativo contaminado presentó la misma cantidad de *Pseudomonas* sp. (2.50×10^3 UFC/g), siendo la cantidad de

Pseudomonas sp. inicial para cada microcosmo. Ante lo mencionado, el microcosmo M1 y M2 están conformados con la aplicación del lodo residual deshidratado higienizado, dicho lodo residual aplicado presenta una cantidad de Pseudomonas sp. de 1.50×10^5 UFC/g. Se determinó la variación de las Pseudomonas sp. de cada uno de los tratamientos establecidos en los microcosmos, tratamiento control, tratamiento M1, y tratamiento M2, en el transcurso de 100 días de análisis, las cuales se muestra en la **Tabla 43**, y **Figura 21**.

Tabla 43
Variación de las Pseudomonas sp.

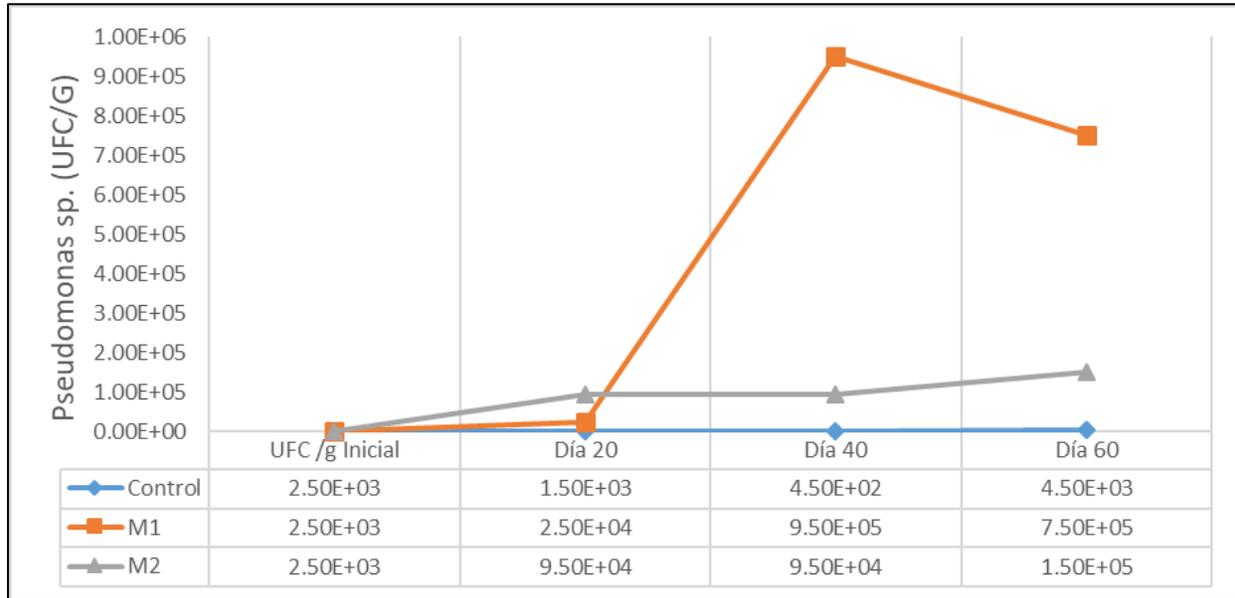
Suelo Nativo sin Contaminar	Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (días)							
			Parámetro : Pseudomonas sp. (UFC/g)							
			Concentración Inicial	20	% Δ^a	40	% Δ	60	% Δ	
2.50×10^3	100 : 000	Control	2.50E+03	1.50E+03	-40	4.50E+02	-82	4.50E+03	80	
	70:30	M1	2.50E+03	2.50E+04	900	9.50E+05	37900	7.50E+05	29900	
	50:50	M2	2.50E+03	9.50E+04	3700	9.50E+04	3700	1.50E+05	5900	

Nota. ^aSignifica el porcentaje de variación respecto a la UFC/g inicial

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Variación de las Pseudomonas sp.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos de la variación de las *Pseudomonas sp.* en los microcosmos con dosis de lodo residual, M1 y M2, experimentaron un aumento mayor al del 800% durante los primeros 20 días de análisis, continuó presentando un aumento de los microorganismos en los días 40 y 60 de análisis, por otro lado, el microcosmo control presentó una disminución de las *Pseudomonas sp.* durante los días 20, y 40 de análisis.

b) Coliformes Termotolerantes.

El análisis de los Coliformes Termotolerantes del lodo residual obtenido fue de 9 200 000 NMP/100g, y que, al pasar por un proceso de higienización, se reduzco a una cantidad menor de < 18 NMP/100g; tras culminar la etapa experimental, el microcosmo M2, el cuál presentó una mayor reducción de la concentración de hidrocarburos, y que además fue el microcosmo que presentó la mayor dosis de lodo residual, presentó una cantidad de Coliformes Termotolerantes menor de < 18 NMP/100g.

3.4.11. Análisis de Varianza (ANOVA)

Se realizó la comparación de la biorremediación del suelo, correlacionando las concentraciones de hidrocarburos obtenidas, para ello se utiliza el análisis ANOVA para los valores obtenidos durante los 100 días de análisis, teniendo en cuenta que se utiliza un 95% como intervalo de confianza.

Tabla 44

Data para ANOVA

Día	Microcosmos		
	MC	M1	M2
Inicial	22450.768	22450.768	22450.768
40	19829.4	8137.5	7054.6
80	20394.9	4786.01	3346.1
100	19987	2624	1121

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Fórmulas de Data de ANOVA

Fórmulas	MC	M1	M2
Suma(xi.)=	82662.068	37998.278	33972.468
Media=	20665.517	9499.5695	8493.117
Suma total(x..)=	154632.81		
ni=	4	4	4
N=	12		k=3
SCTrat =	365144869		
SCTotal=	886369822		
SCError=	521224952		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Análisis de Varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36514486 9	2	182572435	3.1524812 9	0.09169509	3.1524812 9
Dentro de los grupos	52122495 2	9	57913883. 6			
Total	88636982 2	11				

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de varianza señalan que no existe diferencias en las medias de los microcosmos ($0.09169509 > 0.05$; $3.15248129 < 3.15248129$), por la cual indica los microcosmos son métodos iguales, por lo cual ayuda a identificar las variaciones de las concentraciones de hidrocarburos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El lodo residual utilizado en la presente investigación fue recolectado en la finalización del proceso de centrifugado de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica (PTAR), a su vez, presentó la cantidad de Coliformes Termotolerantes de 9 200 000 NMP/100g; para reducir al mínimo la cantidad de microorganismos patógenos en nuestras experimentaciones se estabilizó el lodo residual con un deshidratado por acción solar de 2 días, ya que el lodo pasó por un proceso de centrifugado, se le aplicó 0.60 Kg CaO/Kg MS del lodo residual, para darle un reposo de 24 horas, y posteriormente ser expuesto a una temperatura mayor al de 85°C durante 2 horas continuas, logrando reducir la cantidad de Coliformes Termotolerantes a < 18 NMP/100g. En este sentido, las investigaciones de nuestros antecedentes analizadas plantearon someter los lodos residuales a elevadas temperaturas entre 60°C y 105°C por un periodo de tiempo mayor a 10 horas (Peñarete et al., 2013; Bedoya-Urrego et al., 2013) para posteriormente aplicar un 9% en peso de cal viva y cal hidratada (Torres et al., 2010). Esto se atribuye que se necesita deshidratar el lodo residual para poder aplicar cal al lodo residual y lograr un aumento del pH superando las 12 unidades para lograr una disminución de gran impacto en la cantidad de microorganismo patógenos (Torres et al., 2008).

El suelo estudiado tiene una textura Franco Arenosa, característica del suelo vulnerable de la selva peruana que son expuestos a incidencias de derrame de petróleo (Gerónimo y Vásquez, 2017). El desarrollo de los experimentos con suelos contaminados de diversas áreas conlleva a tener diversas concentraciones de contaminante en nuestras unidades de análisis, siendo un factor negativo si la intención es generar replicas experimentales. Sin embargo, se pudo identificar en

dos investigaciones, que se puede recolectar una gran cantidad de suelo con las mismas características para poder realizar simulaciones de derrame de petróleo en ella, como establecer de manera directa 50 gr de petróleo por kilogramo de suelo que compone al microcosmo (García et al., 2012), o una concentración de 10 000 mg de Hidrocarburo por kilogramo de suelo (Villena, 2019). El poder instaurar una concentración y realizar la simulación de contaminación en el suelo establece una disminución de error en el porcentaje final de biorremediación, por ello, se decretó una contaminación artificial a cada uno de nuestros microcosmos, para que inicien con la misma concentración de hidrocarburos para su análisis de biorremediación; previamente se realiza un análisis de los parámetros a seguir del suelo nativo limpio, el análisis de los mismos parámetros en el suelo nativo contaminado artificialmente, y posteriormente el análisis del suelo al finalizar los días del experimento.

La aplicación de la técnica del microcosmo nos permitió iniciar con la concentración 22450.768 mg/Kg de hidrocarburos en cada uno de las muestras experimentales, a su vez, a los 100 días de análisis se logró identificar que las muestras con 50% lodo residual generaron el 95.01% de eliminación de hidrocarburos reduciendo la concentración de 22450.768 mg/Kg a 1121 mg/kg, y las muestras con 30% lodo residual obtuvieron el 88.31% de reducción, disminuyendo la concentración de 22450.768 mg/Kg a 2624 mg/Kg. Además, se pudo corroborar que la aplicación del lodo residual produjo una reducción de hidrocarburos de manera significativa en los trabajos en donde fue analizado como biorremediador, logrando valores del 92.71% de biorremediación (36 990 mg/Kg a 2 676 mg/Kg) (Álvarez, 2007), 97.55% (548.5 ppm a 13.4 ppm) (Gaete, 2019), y 99% de biorremediación (1732 ppm a 19.2 ppm) (Gutiérrez, 2017). Esto se debe a que el lodo residual presenta características que mejoran la materia orgánica y la cantidad de nutrientes en el suelo (Potisek-Talavera et al., 2010), y que esta mejora de los nutrientes estimula

a la microbiota para acelerar la degradación de los contaminantes del suelo (Martínez-Prado et al., 2011). Por estas razones, el lodo residual puede ser aplicado en suelos contaminados con la finalidad de recuperar las características iniciales de los suelos, antes de presentar la contaminación por hidrocarburos.

Además, se precisa que la caracterización del suelo es solo una base de donde se iniciará las comparaciones de mejora de parámetros, por ello, sus parámetros identificados deben guiarnos a identificar un proceso de biorremediación, por consiguiente, el proceso de biorremediación del suelo en los microcosmos fueron guiadas por las variaciones de parámetros como:

El potencial de hidrógeno (pH), y la conductividad eléctrica (uS/cm) del suelo nativo fue de 6.82 y 561 uS/cm respectivamente, y que al ser contaminado y pasar los 100 días de análisis, aumentaron a 8.02 pH y 657 uS/cm, sin embargo, en los microcosmos con dosis de lodo residual, presentaron que el microcosmo M1 tiene 7.70 pH con 2242 uS/cm, y el M2 tiene un pH de 7.53 con 2963 uS/cm. Dicha relación coincide con los resultados obtenidos con Villena (2019), en donde su muestra sin lodo residual tiene un pH mayor a 8, y en sus muestras con lodo tiene un pH entre 7.30 a 7.70, por otro lado, Valenzuela (2019) obtiene que en sus muestras con lodo residual tienen una conductividad mayor al 130% respecto a su muestra sin lodo residual. Con relación a que el potencial de hidrógeno de los microcosmos con lodo residual se encuentre en un nivel óptimo, como lo señala Barbaro et al. (2014) indica que los nutrientes presentes en el microcosmo están a su máximo nivel de ser solubles, y ser mejor aprovechada por los microorganismos, a su vez, tener una CE elevada, indica la liberación de nutrientes en el sustrato. Estas modificaciones en el suelo que genera la aplicación del lodo residual, demuestra que su dosificación proporciona mejores condiciones para el desarrollo de los microorganismos en el microcosmo, manteniendo un pH neutro, y una elevada CE para la mejor disposición de nutrientes.

El suelo nativo presenta una relación de Carbono: Nitrógeno (C: N) de 39.5: 1, y que al pasar los 100 días de ser contaminado de manera artificial presentó una relación de 41.33: 1, sin embargo, en los microcosmos con dosis de lodo residual, presentaron que el microcosmo M1 tiene una relación C: N de 8.54: 1, y el M2 tiene 7.11: 1. Como lo expresa Gamarra et al. (2017) la relación de C: N menor a 15 indica que en el sustrato hay nutrientes suficientes para todos los microorganismos, lo que produce la estimulación de la actividad microbiana, además de aumentar su eficiencia en la descomposición de la materia orgánica. Esta relación adecuada de C: N solo se cumplió en los microcosmos con presencia de lodo residual, influyendo directamente en la biodegradación del hidrocarburo. A su vez, el suelo nativo presentaba una cantidad de materia orgánica de 2.73 g/100g, que al ser agregado en el M2 aumentó a 7.06 g/100g, como lo detalla Julca et al. (2006) la materia orgánica es esencial en el suelo ya que presenta el total del peso de los seres vivos del sustrato, además contiene micronutrientes esenciales para el desarrollo de los microorganismos y que su presencia en el suelo facilita la degradación de los contaminantes.

Es preciso mencionar que los metales pesados del Microcosmo M2, quien fue conformado por dosificación del lodo residual del 50%, no presentó mayor modificación en el contenido de los metales pesados respecto al suelo nativo sin contaminar a excepción de los parámetros de Zinc, y Cromo. Dicho aumento coincide con lo obtenido por Nieto (2016) quien señala que esto se debe a que el lodo residual presenta una mayor concentración de estos parámetros (Zn, y Cr). Por otro lado, Francisco et al. (2011) indica que los metales pesados del suelo a biorremediar no presentan una variación significativa en su concentración, tras la aplicación del lodo residual. El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) establece que los suelos Industrial/Extractivo tienen un estándar de calidad ambiental del Arsénico (140 mg/Kg), Bario (2 000 mg/kg), Cadmio (22 mg/kg), Cromo (1 000 mg/kg), Mercurio (24 mg/kg), y Plomo (800 mg/kg), con respecto a ello, el microcosmo M2

obtuvo las concentraciones siguientes: Arsénico (16.25 mg/Kg), Bario (899 mg/kg), Cadmio (0.43 mg/kg), Cromo (29.91 mg/kg), Mercurio (0.21 mg/kg), y Plomo (21.19 mg/kg); lo que señala que la aplicación del lodo residual no supera las concentraciones de los metales pesados establecidos como límite en su estándar de calidad ambiental del suelo, manteniéndose dentro de los rangos impuestos por el Ministerio del Ambiente.

La presencia de Coliformes Termotolerantes en el microcosmo con mayor aplicación de lodo residual, después de los 100 días de análisis, fue menor a 18 NMP/100g; dicha relación de mantenerse la cantidad de Coliformes Termotolerantes al ser higienizado repite la investigación de Duran y Ladera (2016) donde señala que el lodo estabilizado puede aplicarse sin restricción a todos los suelos. Por otro lado, los microcosmos con aplicación de lodo residual presentaron un aumento mayor al 5900% de las *Pseudomonas sp.*, como lo menciona Mayz y Manzi (2017) las *Pseudomonas* tiene una acción rápida correctiva para poder biodegradar hidrocarburos, ya que mineralizan los hidrocarburos saturados y aromáticos, por otro lado, Muñoz (2016) indica que la relación del aumento de las *Pseudomonas sp* y la reducción de la cantidad de hidrocarburos en el suelo se debe a que son organismos reconocidos por poder desarrollarse con facilidad usando componentes altamente tóxicos, como compuestos orgánicos recalcitrantes, pero que a igual medida, necesitan fuentes que les brinden requerimientos nutricionales necesarios para su mejor desarrollo; esto en la práctica realizada, explica el aumento de la *Pseudomonas sp* desarrollados en los microcosmos con lodo residual, ya que son una fuente directa de parámetros trazas.

4.2. Conclusiones

La higienización del lodo residual expuesto a una temperatura mayor a 85°C, permitió obtener valores óptimos de bajo nivel de Coliformes Termotolerantes, reduciendo la cantidad de 9 200 000 NMP/100g a <18 NMP/100g, lo que permitió aplicar el lodo residual en nuestros microcosmos experimentales.

La aplicación del lodo residual en un suelo contaminado con hidrocarburos, bajo la evaluación de la técnica del microcosmo, demuestra un óptimo desempeño en la reducción de la concentración de hidrocarburos en un tiempo de 100 días de análisis, siendo el tratamiento M2 con la composición de Suelo contaminado: Lodo residual de 50: 50 la que logró un 95.01% de la remoción del contaminante conllevando la concentración inicial de 22450.768 mg/kg a una concentración final de 1121 mg/kg.

La aplicación de la técnica del microcosmo demuestra que los microcosmos con dosis de lodo residual mantienen su potencial de hidrógeno dentro de un rango óptimo, y una conductividad eléctrica elevada, esto permite tener una liberación y solubilidad de nutrientes en el sustrato, por otro lado, la dosificación del lodo residual del 50% permitió tener un aumento significativo de la materia orgánica, conllevado la cantidad de 2.73 g/100g a 7.06 g/100g.

Los microcosmos con presencia de lodo residual; el tratamiento M1 con relación Suelo Contaminado: Lodo Residual de 70: 30, y el tratamiento M2 con relación 50:50, demostraron una relación Carbono: Nitrógeno menor a 15, lo que genera una estimulación directa a la actividad microbiana en los sustratos de los microcosmos; dicha relación coincide con el crecimiento de las *Pseudomonas* sp. en los microcosmos con lodo residual, que presentaron crecimientos mayores al 1000% durante los 100 días de análisis.

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

El lodo residual recolectado de la planta de tratamiento de aguas residuales debe ser expuesto a espesadores, y posteriormente a un proceso de centrifugado, lo que permitirá que el lodo residual se encuentre deshidratado, y así facilitar tu manejo en la etapa de higienización que realizará el investigador.

Es preciso señalar que los microcosmos deben estar expuestos a una humectación y oxigenación constante, ya que son factores que ayudan a la biodegradación del hidrocarburo por los microorganismos presentes en el suelo, a su vez, el lodo residual tiene que pasar por un tamizado de 2 mm para tener una mejor adaptación con el suelo, y realizar una mezcla homogénea.

Establecer una integración de dosificación de lodo residual del 10%, 20%, y 40%, adicionales a los 30% y 50% trabajados en los microcosmos de análisis, para obtener un mayor rango de comparación en la eficacia de biorremediación de hidrocarburos en el tiempo de análisis.

Se debe disponer con claridad los parámetros del suelo que nos oriente a identificar un proceso de biorremediación, para ello se debe ampliar el universo de datos analizando indicadores microbiológicos distintos a los mencionados en el desarrollo de la presente investigación, tales como conteo de microorganismos heterótrofos totales, microorganismos biodegradadores, y producción de CO₂, dichos parámetros deberán de ser medidos y comparado a lo largo del tiempo de análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2007). *Método EPA 6020A (SW-846): Plasma acoplado inductivamente - Espectrometría de masas*.
https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-6020a-sw-846-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry_.html
- Alcaraz, F. (2012). *El factor suelo*. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema16.pdf>
- Álvarez, J. (2007). *Utilización de fangos digeridos en el proceso de biorremediación de residuos sólidos petrolizados*. <https://www.monografias.com/trabajos44/biorremediacion-residuos/biorremediacion-residuos2.shtml#concl>
- Amador - Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E. y Bataller - Venta, M. (2015). *Tratamientos de lodos, generalidades y aplicaciones*. *Redalyc*, 46(1), 1-10.
<https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Angulo, J. (2020, 20 de abril). *Alquenos generalidades* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=yoBzg5DMh0k>
- Arias, Y. (2013). *Diseños experimentales: Segunda parte*.
<https://es.slideshare.net/conyas16/sampieri-diseo-experimental-18624204>
- Ávila, J. (2016). *Estudio de la movilidad que presenta el diésel en un suelo contaminado empleando surfactantes* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39207>
- Barbaro, L., Karlanian, M. y Mata, D. (2014). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf

Baridón, E. (2019). *Morfología del suelo.*

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42968/mod_resource/content/1/TEMA%2020MORFOLOG%C3%8DA%2026-03-19.pdf

Bear, A., Jones, T. & Boddy, L. (2014). Size matters: What have we learnt from microcosm studies of decomposer fungus-invertebrate interactions?. *Elsevier*, 78(1), 274-283. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.009>

Bedoya - Urrego, K., Acevedo - Ruiz, J., Peláez - Jaramillo, C. y Agudelo - López, S. (2013). Caracterización del biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí. *SciELO*, 15(5), 778-790. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0124-00642013000500013&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Benini, R., Cortés, M., Monsalvo, M., Paladino, J., Spinelli, L., Tambussi, M. y Trubiano, G. (2011). *Refinación del petróleo: Parte I.* https://fundacionypf.org/publicaciones/Educacion/EDUCACION_FET_Actualizacion_Tecnologica_3.pdf

Benintende, S. y Sánchez, C. (s.f.). *Crecimiento bacteriano.* http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/microbiologia/unidad_3_crecimiento_bacteriano

Botello, A., Rendón, J., Gold - Bouchot, G. y Agraz - Hernández, C. (2005). *Golfo de México Contaminación e impacto ambiental: Diagnósticos y tendencias.* <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Golfo%20de%20Me%CC%81xico%20Contaminacio%CC%81n%20e%20Impacto%20Ambiental%20Diagno%CC%81stico%20y%20Tendencias%20.pdf&tipo=paginas>

- Bóveda, M. (2019). *Efectos de las lluvias intensas sobre nuestros suelos*.
<https://infoagro.com.ar/efectos-de-lluvias-intensas-sobre-nuestros-suelos/>
- Brutti, L., Beltrán, M. y García, I. (2018). *Biorremediación de los recursos naturales*.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_1.pdf
- Buendía, H. (2013). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles. *Instituto de investigación (RIIGEO)*, 15(30), 123-130.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101/3268>
- Bullón, J. (2020, 20 de septiembre). *Utilidad e importancia de los hidrocarburos en nuestra vida diaria* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=r2YtCdLCO-8>
- Burbano - Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 117-124.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Burgos, R. (2008). Degradación de hidrocarburos.
http://bioinformatica.uab.es/biocomputacio/treballs02-03/RBurgos/dades/degradaci%C3%B3n_de_hidrocarburos.htm
- Caballero, C. (s.f.). *Suelos* [presentación de diapositivas]. UNAM.
<http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/34c-Suelos%20y%20edafizacion.pdf>
- Cabrera, S. (2013). *ANOVA. Introducción*. [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=DUT9jhPDih0>
- Cavazos-Arroyo, J., Pérez-Armendáriz, B. y Mauricio-Gutiérrez, A. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Scielo*, 11(4), 539-550.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-

54722014000400006

Centro Europeo de Postgrado. (2020). Desarrollo microbiano.

<https://www.ceupe.com/blog/desarrollo-microbiano.html>

Chang, I. (2020). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por Pseudomonas spp en biorreactores* [Tesis para maestría, Universidad Agraria de la Selva].

Repositorio Institucional Universidad Agraria de la Selva.

http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1818/TS_IWCH_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chavarría, F. (2011). *Edafología* 1.

<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Claramunt, R., Cornago, M., Esteban, S., Farrán, A., Pérez, M. y Sanz, D. (2013). Principales compuestos químicos.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=K45iAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=aquenos+propiedades+quimicas&ots=cpHCL3Ctsn&sig=0rlyM9FFcKdR-6n4cNis4eNU_rc#v=onepage&q&f=false

Cobas, H., Pavoni, S., Zayas, A., Rodríguez, F., Álvarez, E. y Contreras, R. (2007). Aplicación de

la volumetría en el análisis del crecimiento microbiológico.

https://www.researchgate.net/profile/Zayas_Am/publication/228716655_APLICACION_DE_LA_VOLTAMETRIA_EN_EL_ANALISIS_DEL_CRECIMIENTO_MICROBIOLOGICO/links/5ee70ba7a6fdcc73be7bb404/APLICACION-DE-LA-VOLTAMETRIA-EN-EL-ANALISIS-DEL-CRECIMIENTO-MICROBIOLOGICO.pdf?origin=publication_detail

- Cornejo, P. (2014). *Importancia de los Hidrocarburos*.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/view/1639>
- Cortés, A. (2014). *Proceso del refinado de petróleo para la obtención de combustibles marinos*.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21742/PROYECTO%20FINAL%20DE%20CARRERA%20ETN%20ADRIA%20CORTES%20DEL%20PINO.pdf>
- Crespo, C. (2016). *Biorremediación de hidrocarburos* [presentación de diapositivas]. Slideshare.
<https://slideplayer.es/slide/6173515/>
- Crespo, G. (2013). Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema pastizal. *Redalyc*, 47(4), 329-334. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815001.pdf>
- Crismatt, D. (2017, 26 de septiembre). *Termómetro de suelo* [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=_DDhHQSo4p0
- Desonie, D. (2016). *Formación del suelo*. <https://www.ck12.org/book/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espa%c3%b1ol/section/9.6/>
- Durán, L. y Ladera, M. (2016). Biorremediación de suelos contaminados por organoclorados mediante la estimulación de microorganismos autóctonos, utilizando biosólidos. *Nexo*, 29(1), 22-28. <https://www.camjol.info/index.php/NEXO/article/download/4397/4154>
- EALDE. (2020, 8 de septiembre). *En que consiste la fase de refinado en un proyecto petrolero*. EALDE BUSINESS SCHOOL. <https://www.ealde.es/en-que-consiste-refinado-petroleo/>
- Fernández, S. y Corbella, R. (2017). *Morfología del suelo*. <https://docplayer.es/64451850-Morfologia-del-suelo.html>
- Flores, F., Flores, L., Valenzuela, I. y Flores, E. (2010). Lixiviados de biosólidos sobre la biota dulceacuícola. *Redalyc*, 18(48), 38-43.

https://www.researchgate.net/publication/45437222_Lixiviados_de_biosolidos_sobre_la_biota_dulceacuicola

Fomina, M., Hong, J. & Gadd, G. (2019). Effect of depleted uranium on a soil microcosm fungal community and influence of a plant-ectomycorrhizal association. *Elsevier*, 124(5), 289-296. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.08.001>

Francisco, J., Ramos, P. y Aguirre, G. (2011). Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra-Lima. *Scielo*, 77(1), 66-74. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000100008

Gaete, H. (2019). *Biorremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos de aguas residuales como fuente de nutrientes* [Tesis para titulación, Universidad del Bio-Bio]. Repositorio Digital. http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3354/1/Gaete_Mora_H%c3%a9ctor_Alfredo.pdf

Gálvez, S. (2014). *Efectos de la aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales sobre suelo* [Tesis para titulación, Universidad Agraria de la Molina]. Repositorio Universidad de La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2337/F04-G34-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gamarra, C., Díaz, M., Vera de Ortiz, M., Galeano, M. y Cabrera, A. (2017). Relación Carbono-Nitrógeno en los suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Scielo*, 9(46), 4-26. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>

García, M., Infante, C. y López, L. (2012). Biodegradación de un crudo mediano en suelos de diferentes texturas con y sin agente estructurante. *SciELO*, 24(2), 93-102.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612012000200003

GEDAR-Gestión de aguas y residuos. (s.f.). *Fangos activos*.

<https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/fangos-activos.htm>

Gerónimo, A. y Vázquez, C. (2017). *Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en el suelo contaminado por hidrocarburos* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Universidad Nacional del Callao.

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3255/Geronimo%20urrutia%20y%20Vasquez%20Silva_TITULO%20AMBIENTAL_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

y

Gruiz, K., Molnár, M., Feigl, V., Vaszita, E. & Klebercz, O. (2015). *Environmental toxicology*.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SIW9BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA401&dq=+what+is+a+terrestrial+microcosm+in+biology&ots=VdqpGq3td9&sig=dprwr-A8f-GFkN7vfQFqyHAMBfQ#v=onepage&q=what%20is%20a%20terrestrial%20microcosm%20in%20biology&f=false>

%20in%20biology&f=false

Gutiérrez, C. (2017). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes* [Tesis de titulación, Universidad del Bío-Bío]. Repositorio digital.

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3096/1/Gutierrez_Ramirez_Claudio_Andres.pdf

Andres.pdf

Gutiérrez, L. (2010). *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburo usando lodos residuales estabilizados y fertilizados* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7733>

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*.

<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Holguín, E., Morales, M., Vicencio, M. y Morales, M. (2014). *Lodos residuales: métodos de tratamientos, estabilización y aprovechamiento*.

<https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24059/1/VIDSUPRA%20VOL%206%20NUM%202.pdf#page=17>

Homepost (2020, 1 de octubre). Compostera para exterior [Publicación]. Facebook.

<https://www.facebook.com/HomepostGt/photos/118011996725089>

Ibáñez, J. (2007, 25 de marzo). *Funciones de los organismos en el suelo: La biota edáfica*. Madrid

blogs. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/25/62254>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). *Tecnología de remediación*.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html>

Iturbe, R. (2010). *¿Qué es la biorremediación?*.

http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletto/cb_11.pdf

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez, A. (2015, 28 de agosto). *Curva de crecimiento bacteriano* [presentación de diapositivas].

Slideshare. <https://es.slideshare.net/Altajimenez/curva-de-crecimiento-bacteriano>

Jiménez, N. (2014). *Diseño de un reactor biológico de fangos activos*.

http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3717/2111_Disen%20de%20un%20reac

tor%20biologico%20de%20fangos%20activos.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2iIwGmcNvKroZOijHVgKJMWI8Hcw82U2o4KXIJW1ImhksN6iC2qSiY_tQ

- Julca, A., Meneses, L., Blas, R. & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Scielo*, 24(1), 49-61.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009
- Kwak, J. y An, Y. (2016). El estado actual del arte en la investigación sobre nanomateriales diseñados y entornos terrestres: enfoques a diferentes escalas. *Elseiver*, 151(1), 368-382.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.005>
- León, A. y Zúñiga, M. (2020). *La sombra del petróleo: Informe de los derrames petroleros en la Amazonía peruana entre el 2000 y el 2019*. https://oi-files-cng-prod.s3.amazonaws.com/peru.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/La-sombra-del-petroleo-esp.pdf
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ¿Problema o recurso?*. http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- López, E., Cisneros, S., & Ochoa, J. (2016). Procesos de bioestimulación para la remediación de suelos agrícolas contaminados con tebuconazol y λ -cialotrina. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(8), 1-9.
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion_y_Laboratorio/vol3num8/Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V3_N8_1.pdf
- López, J. (2010). *Textura del suelo* [presentación de diapositivas]. <https://antoniojordan.weebly.com/edafologia-y-climatologiacutea-agriacutecola-grado-en-ingenieriacutea-agriacutecola.html>

- López, L. (2016). *Curva de crecimiento bacteriano en la producción de proteínas recombinantes* [presentación de diapositivas]. Universidad Nacional Autónoma de México.
https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Transferencia_de_conocimientos_Liz_Lopez_2015.pdf
- Lozano, H. (2017). *Hidrocarburos alifáticos: alquinos* [presentación de diapositivas]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/b_huejutla/2017/Hidrocarburos_alifaticos_alquinos.pdf
- Lozano, N. (2005). *Biorremediación de ambientes contaminados con petróleo*.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/download/4326/6056/>
- Lugo, J., Águila, P., Vaca, R., Casas, I. y Yañez, G. (2017). Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos. *SciELO*, 33(3), 475-484.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000300475
- Mantilla, G. (2016). *Alternativas en el manejo integral de lodos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* [presentación de diapositivas].
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MANTILLA%202016.%20Alternativas%20en%20PTARS.pdf
- Maroto, E. y Rogel, J. (2008). *Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos*.
http://aguas.igme.es/igme/publica/con_recu_acuiferos/028.pdf

Martínez, A., Otero, A., Rodríguez, M. y Suarez, C. (2014, 26 de abril). *Reuso de aguas residuales*

[presentación de diapositivas]. Slideshare.

<https://es.slideshare.net/angelamaritzamartinezsotelo/reuso-de-aguas-residuales-presentacion-grupo-13>

Martínez-Prado, A., Pérez-López, E., Pinto-Espinoza, J., Gurrola-Nevárez, B. y Osorio-

Rodriguez, A. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Scielo*, 27(3), 241-252.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009

Mays, J. y Manzi, L. (2017). Bacterias hidrocarburoclástica del género *Pseudomonas* en la

rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Scielo*, 19(1), 29-37.

<http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v19n1/0123-3475-biote-19-01-00029.pdf>

Medina-Herrera, M., Negrete-Rodríguez, M., Gámez-Vásquez, F., Álvarez-Bernal, D. y Conde-

Barajas, E. (2020). La aplicación de lodos residuales afecta, a corto plazo, la biomasa microbiana y su actividad en suelos sódicos. *Scielo*, 36(3), 577-591.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992020000300577&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Meier, M. (2014, julio 22). Crónica de un derrame anunciado. *El Comercio*.

<https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/cronica-derrame-anunciado-344312-noticia/?ref=ecr>

Méndez, M., Rennola, L., Peña, M. y Rodríguez, P. (2011). Determinación de hidrocarburos

totales de petróleo (TPH) usando CG-FID en suelos de un patio de tanques en desuso

situado en Catia La Mar–Venezuela. *Redalyc*, 32(1), 31-37.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550791006>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017, 25 de enero). *Resolución ministerial N°024-2017-VIVIENDA*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/21719/RM_024-2017-VIVIENDA.pdf

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto supremo N°011-2017-MINAM*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

Möbius. (2017, 29 de agosto). *¿Qué es una PTARD – Planta de tratamiento de aguas residuales?*. <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>

Molnár, M., Vaszita, E., Farkas, É., Ujackki, É., Fekete-Kertész, I., Tolner, M., Klebercz, O., Kirchkeszner, C., Gruiz, K., Uzinger, N. & Feigl, V. (2016). Acidic sandy soil improvement with biochar — A microcosm study. *Elseiver*, 563-564(1), 855-865. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.091>

Mora-Atiés, D. y Marbot-Ramada, R. (2010). Determinación de las fracciones de petróleo crudo en el empleo de la destilación simulada por cromatografía gaseosa como método alternativo. *Redalyc*, 41(2), 105-112. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620526004.pdf>

Muñoz, S. (2016). Evaluación de la eficacia de *Trichoderma sp* y *Pseudomona sp* para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos [Tesis para titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13228>

Narváez, L. (2018a, 16 de junio). *Tratamiento primario* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=pCpGZe-bHIE>

Narváez, L. (2018b, 16 de junio). *Tratamiento secundario* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=3yrW6n2LbsI>

Nieto, E. (2016). *Efecto de la aplicación de lodos de depuradora tratados en el desarrollo de plantas de Ligustrum vulgare en un suelo calizo* [Tesis para maestría, Universidad de Alcalá]. Biblioteca digital Universidad de Alcalá.

https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/27543/TFM_Nieto_Pe%C3%B1a_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Onofre, E. (2018). *Propuesta técnica de gestión ambiental sostenible para el aprovechamiento de lodos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en campamento mineros del Perú* [Tesis para maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13374>

Peña, J. (2017). *Procesos de biorremediación en el tratamiento de residuos sólidos de cigarrillo* [Tesis de magister, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62316>

Peñarete, W., Silva-Leal, J., Urrutia, N., Daza, M. y Torres-Lozada, P. (2013). Efecto de aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. *SciELO*, 62(3), 251-260. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n3/v62n3a08.pdf>

Peralta, E. (2017). *Efecto del lodo residual incorporado como sustrato en repique de Pinus radiata D. a nivel de vivero forestal Potojani* [Tesis para título, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional UNA-PUNO.

http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7510/Peralta_Hancco_Edwin%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Pérez, S., Silva, I., Peñuela, G. y Cardona, S. (2015). Evaluación de biocombustibles e hidrocarburos del petróleo (gasolina y diésel) en un suelo: proceso de transporte y biorremediación. *Scielo*, 21-46. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/nspe2/nspe2a03.pdf>
- Petenello, M., Beltrán, C. y Feldman, S. (2014). Efecto del agregado de diésel-oil sobre algunos parámetros microbiológicos del suelo con y sin presencia de plantas. *Scielo*, 32(4), 301-309. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n4/2395-8030-tl-32-04-00301.pdf>
- Potisek-Talavera, M., Figueroa-Viramontes, U., Gonzáles-Cervantes, G., Jasso-Ibarra, R. y Orona-Castillo, I. (2010). Aplicación del biosólido del suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrimentos. *Scielo*, 28(4), 327-333. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400004
- Ramírez, E. (2016). Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao región Ucayali [Tesis para grado de magister, Universidad Agraria de la Molina]. Repositorio Universidad de La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2761/P32-R3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, W. (2008). Mejoramiento de suelos arenosos del sector Santo Domingo del Valle Santa Catalina mediante el uso de lodo residual municipal estabilizado [Tesis para doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional UNITRU. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/6018>

Rivero, G. (2017). *Tratamiento de lodos.*

https://www.academia.edu/33246295/TRATAMIENTO_DE_LODOS

Roy, A., Baruah, R., Borah, M., Singh, A., Deka, H., Saikia, N., Deka, M., Dutta, N. & Chandra, T. (2014). Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *Elsevier*, 94(1), 79-89. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.024>

Rubio, C. (2019). Estabilización de lodo con cal [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=d73JlJgVAqY>

Salcedo-Pérez, E., Vásquez-Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora-Natera, F., Hernández-Álvarez, E. y Rodríguez, R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Scielo*, 32(2), 115-120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200009

Sánchez, B., Sánchez, B. & Varela, J. (1987). Microcosmo terrestre una técnica para la evaluación de los efectos producidos por los contaminantes. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/063/38063282.pdf

Sancho, R. (2015). Ajuste de modelos matemáticos de crecimiento de bacterias lácticas en queso tipo paria en condiciones isotérmicas y no isotérmicas [Tesis para titulación, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional UNA-PUNO. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3344/Sancho_Mamani_Ronald_Fernando.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sanzano, A. (2019). Los factores de formación del suelo. <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1587690300/module/7953>

470476/name/Genesis%20-

%20Factores%20de%20formaci%C3%B3n%20del%20suelo%202019.pdf

Sapuppo, R. (2017). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante la bioestimulación con lodos residuales [Tesis para maestría, Universidad de Guadalajara].

Repositorio

Dspace.

http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6075/Sapuppo_Romina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Scalone, M. (2012). Morfología de los suelos.

<https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/Capitulo8.pdf>

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

Sepúlveda, A., Inostroza, C. y Encina, F. (2012). Efecto de la aplicación de biosólidos sobre la calidad del suelo: evolución temporal del suelo degradado, región de la Araucanía, Chile.

http://repositoriodigital.uct.cl/bitstream/handle/10925/1003/art%c3%adculo_Sep%c3%baIveda%20et%20al_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Serna, G. (2016, 29 de enero). *Los hidrocarburos concepto* [Video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=II-HQOqmGTs>

Serrano, M., Torrado, L. y Pérez, D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Redalyc*, 11(12), 233-244.

<https://www.redalyc.org/pdf/4762/476248925012.pdf>

Silvana, C., Arocena, L., Martínez, M. y Nudelman, N. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2),

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.02.06/46659>

Silvana, C., Martínez, M. y Arocena, L. (2014). Estudio comparativo del agregado de enmiendas orgánicas e inorgánicas en procesos de biorremediación de suelos norpatagónicos contaminados con petróleo. *Scielo*, 80(4), 251-261.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2014000400004&script=sci_arttext&tlng=en

Silvestre, J. (2016, 14 de abril). *Ensayo de contenido de humedad de suelos* [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=A_CmSyx-Zdo

Soriano, P. (2016). *Génesis del suelo* [presentación de diapositivas].
http://personales.upv.es/psoriano/pdf/geo/Genesis_02.pdf

Srivastava, S. & Thakur, I. (2006). Evaluation of bioremediation and detoxification potentiality of *Aspergillus niger* for removal of hexavalent chromium in soil microcosm. *Elseiver*, 38(7), 1904-1911. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.12.016>

Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Torres, D., Cumana, A., Torrealba, O. y Posada, D. (2010). Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. *Scielo*, 1(2), 175-188.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342010000200005&script=sci_arttext

- Torres, P., Madera, C. y Martínez, G. (2008). Estabilización alcalina de biosólido compostado de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas para el aprovechamiento agrícola. *Scielo*, 61(1), 4432-4444. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a19v61n1.pdf>
- Torres, P., Madera, C. y Silva, J. (2009). Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina. *Redalyc*, 58(3), 197-205. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916219012.pdf>
- Toscano, C. (2017). Alcanos, alquenos y alquinos: nomenclatura y propiedades [Tesis para titulación, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://es.scribd.com/document/354588385/Alcanos-alquenos-alquinos-nomenclatura-y-propiedades-pdf>
- Trujillo, M. y Ramírez, J. (2012). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(2), 37-48. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/952/946>
- Universidad abierta y a distancia de México. (2014). *Biodegradación de compuestos aromáticos* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=85x4K0O5b0I>
- Universidad de Córdoba. (2017). Formación de suelos: Factores formadores. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-cordoba-espana/edafologia/apuntes/t2-formacion-del-suelo-factores-formadores/2404496/view>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2015, 23 de febrero). *Análisis de textura: Método de Bouyocus* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=aBmXcC0w7_w
- Universidad Politécnica de Valencia. (2018, 22 de octubre). *Identificación y reencuentro de Escherichia Coli y bacterias Coliformes* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CbotgiHNmWo>

- Valenzuela, E. (2019). *Aplicación de lodos activados en un suelo contaminado con arsénico, cultivado con avena sativa L., en el distrito de Orcona, Concepción 2016* [Tesis para titulación, Universidad Continental]. Repositorio institucional Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5489/2/IV_FIN_107_TE_Valenzuela_Casimiro_2019.pdf
- Varela, G. y Grotiuz, G. (2008). *Fisiología y metabolismo bacteriano*. <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/FisiologiayMetabolismoBacteriano.pdf>
- Velásquez, M. (2014). *Hidrocarburos, usos y prevención ambiental*. <http://hidrocarburosusoyprevencionamb.blogspot.com/p/clasificacion-usos-y-derivados-del.html>
- Velki, M., Hackenberger, B., Lončarić, Z. & Hackenberger, D. (2014). Application of microcosmic system for assessment of insecticide effects on biomarker responses in ecologically different earthworm species. *Elsevier, 104(1), 110-119*. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.02.006>
- Villalobos, M. (2018, 29 de agosto). *Clasificación de los hidrocarburos* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=w3Sao-DBbp4>
- Villena, J. (2019). *Efecto de la aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diésel* [Tesis para titulación, Universidad Científica del Sur]. Repositorio académico Universidad Científica del Sur. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/827>
- Viñas, M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica [Tesis para doctorado, Universidad de

Barcelona]. Repositorio de Tesis Doctorals en Xarsa.

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf

Volke, T. y Velasco, J. (2002). *Tecnología de remediación para suelos contaminados.*

https://www.researchgate.net/publication/31851896_Tecnologias_de_remediacion_para_suelos_contaminados_T_Volke_Sepulveda_JA_Velasco_Trejo

Zagal, E. y Sadzawka, A. (2007). *Protocolo de métodos para análisis de suelos y lodos.*

http://www.sag.cl/sites/default/files/METODOS_LODOS_SUELOS.pdf

ANEXO

Anexo N° 1. Matriz Operacional de la Variable Dependiente

Tabla 47

Matriz Operacional de la Variable Dependiente

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Dependiente	Biorremediación de suelo contaminados por hidrocarburos	Biorremediación se refiere a un conjunto de metodologías que aprovechan a los microorganismos para degradar sustancias químicas que se encuentran en un sitio que no les pertenece o que sus concentraciones superan lo permitido, producto de un percance natural o un error humano (Brutti, 2018).	Es un elemento constituyente del medio físico contaminado donde su remediación dependerá de las características físicas, características químicas y características biológicas de los biosólidos a aplicar.	Factores físicos	Temperatura	°C
					Conductividad eléctrica	uS/cm
					Arena	g/100g
					Limo	g/100g
					Arcilla	g/100g
					Textura	Composición
				Factores químicos	Alcalinidad	pH
					Carbono Orgánico Total	g/100g
					Materia Orgánica	g/100g
					Nitrógeno Total	g/100g
					C:N	%
				Factores microbiológico	Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/Kg
					Metales Pesados	mg/Kg
Pseudomonas sp.	UFC/g					
Tiempo de exposición	Coliformes Termotolerantes	NMP/100g				
	Tiempo	N°. Días				

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 2. Matriz Operacional de la Variable Independiente

Tabla 48

Matriz Operacional de la Variable Independiente

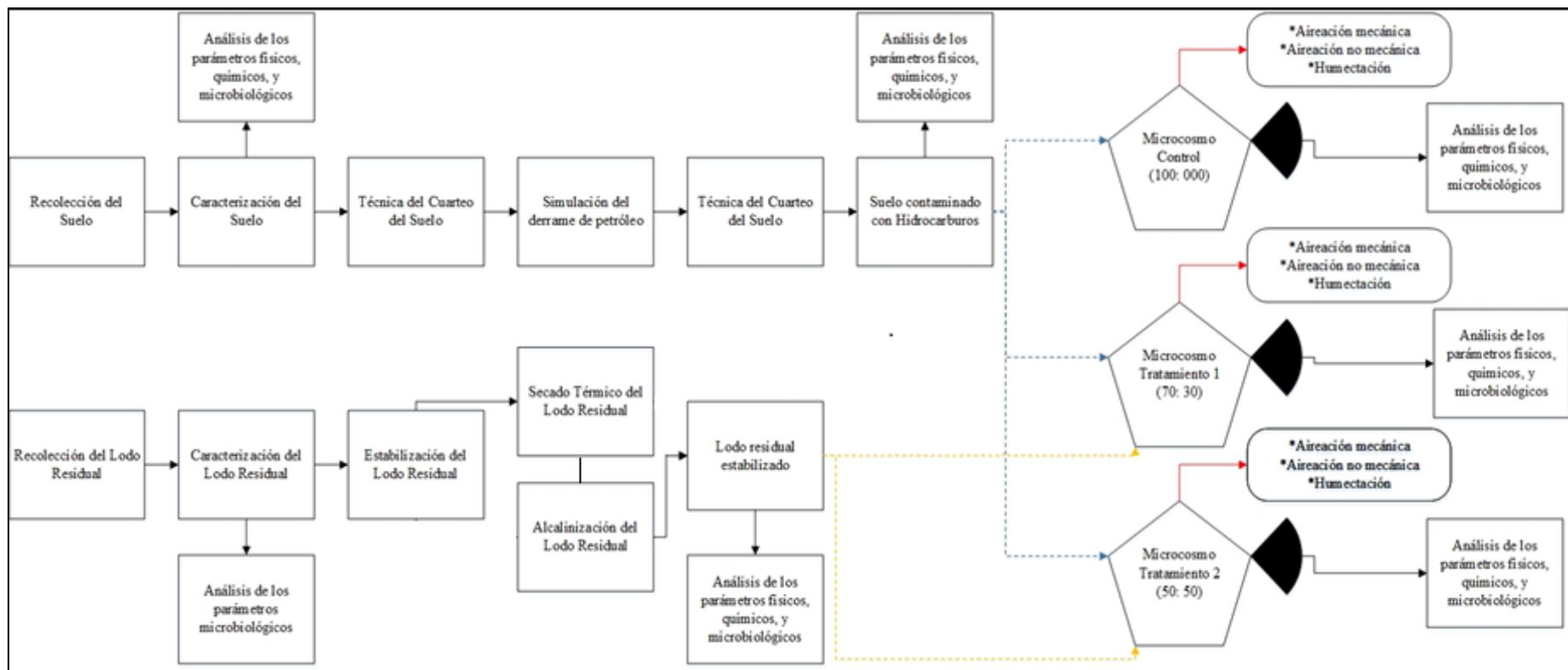
TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independientes	Aplicación de lodo residual	El lodo residual es la biomasa generada por la transformación biológica de las aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas provenientes de depuradores comunales y fosas sépticas (Rivero, 2017).	La aplicación del lodo residual es una etapa indispensable en la biorremediación, ya que este material nutrirá el suelo y activará el potencial degradativa de los microorganismos.	Factores físicos	Temperatura Conductividad Alcalinidad	°C uS/cm pH
				Factores químicos	Carbono Orgánico Total Nitrógeno Total Materia Orgánica C:N Metales Pesados Coliformes Termotolerantes Pseudomonas sp.	g/100g g/100g % mg/Kg NPM/100g UFC/g
	Microcosmo	Es un modelo terrestre que se analiza en laboratorio para estimar concentraciones ambientales en el suelo, ecotoxicidad, riesgo ambiental al inocular un contaminante, y la degradación de concentraciones de químicos contaminantes (Kwak y An, 2016).	Es una submuestra de la naturaleza, una réplica de sistemas naturales donde las variables ambientales pueden ser interpretadas a la realidad	Factor físico	Temperatura Conductividad Textura Alcalinidad	°C uS/cm Composición pH
				Factores Químicos	Carbono Orgánico Total Nitrógeno Total Materia Orgánica C:N Hidrocarburo Coliformes Termotolerantes Pseudomonas sp.	g/100g g/100g Composición mg/Kg NPM/100g UFC/g
				Aireación	Giros No mecánica	N° de giros Tiempo

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 3. Diagrama de Procedimiento Experimental

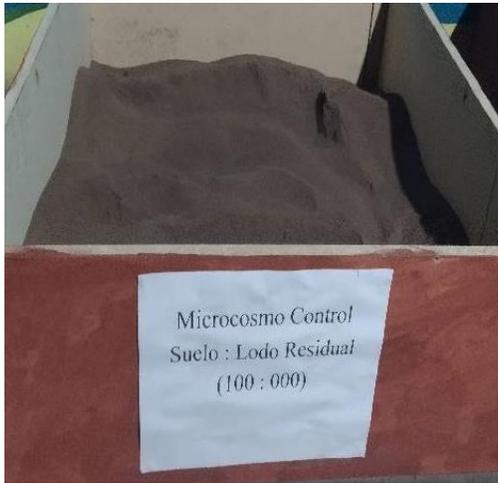
Figura 22

Diagrama de Procedimiento Experimental



Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 4. Manejo de Suelo Nativo

<p>Figura 23</p> <p>Suelo Nativo Recolectado</p> 	<p>Figura 24</p> <p>Tamizado del Suelo</p> 
<p>Descripción: Se aprecia los 260Kg del suelo recolectado para establecerlos en los microcosmos.</p>	<p>Descripción: Se realizó la tamización del suelo en mallas de 2 mm, para separar los sólidos de mayor tamaño.</p>
<p>Figura 25</p> <p><i>Separación de los Sólidos del Suelo</i></p> 	<p>Figura 26</p> <p><i>Suelo Establecido en Microcosmo</i></p> 
<p>Descripción: De los 260Kg del suelo nativo, se pudo separar sólidos con tamaño mayor de 2mm, en un peso equivalente a 90Kg.</p>	<p>Descripción: Se estableció 50 kg del suelo nativo tamizado en cada microcosmo.</p>

5.2. Recolección del Lodo Residual Deshidratado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas – Santa Clara.

<p>Figura 27 <i>PTARD-Santa Clara</i></p> 	<p>Figura 28 <i>Acumulación del Lodo Residual</i></p> 
<p>Descripción: Se aprecia la PTARD-Santa Clara, planta donde se obtuvo los lodos residuales para la experimentación.</p>	<p>Descripción: Expulsión del lodo residual deshidratado, luego de pasar por los espesadores de la PTARD</p>
<p>Figura 29 <i>Contenedor del Lodo Residual en PTARD</i></p> 	<p>Figura 30 <i>Lodo Residual Recolectado</i></p> 
<p>Descripción: Contenedor de los lodos residuales deshidratados.</p>	<p>Descripción: Lodo residual deshidratado recolectado para la experimentación.</p>

5.3. Higienización del Lodo Residual Deshidratado

<p>Figura 31</p> <p><i>Dosificación del Lodo y Cal</i></p> 	<p>Figura 32</p> <p><i>Mezcla del Lodo Residual y Cal</i></p> 
<p>Descripción: Se realizó la separación de 0.60 Kg CaO por cada kilogramo de lodo residual a higienizar, o estabilizar.</p>	<p>Descripción: La mezcla en el tambor rotatorio del lodo y la cal es notable debido a las pigmentaciones blancas.</p>
<p>Figura 33</p> <p><i>Reposo del lodo residual</i></p> 	<p>Figura 34</p> <p><i>Exposición Térmica del Lodo Residual</i></p> 
<p>Descripción: Tras la aplicación de la cal en los lodos para los tratamientos M1, y M2, se procedió a aumentar una dosis pequeña de cal en la parte superior del lodo.</p>	<p>Descripción: Posterior al reposo del lodo con la cal por 1 día, se procedió a exponer el lodo residual a una temperatura mayor a 85°C.</p>

Anexo N° 6. Acondicionamiento de los Microcosmos

<p>Figura 35</p> <p><i>Segundo Cuarteo del Suelo</i></p> 	<p>Figura 36</p> <p><i>Contaminación Artificial del Suelo</i></p> 
<p>Descripción: El segundo cuarteo del suelo consistió en la división de la muestra del suelo en 16 partes iguales para su mejor manejo en la contaminación artificial.</p>	<p>Descripción: Se vertieron 112.61 ml de Diésel por cada 3.125 Kg del suelo nativo. Para posteriormente homogenizar el suelo con el contaminante como parte del cuarteo experimental.</p>
<p>Figura 37</p> <p><i>Homogenización del Segundo Cuarteo del Suelo Contaminado</i></p> 	<p>Figura 38</p> <p><i>Diferencia de Color del Suelo Contaminado</i></p> 
<p>Descripción: Posterior a la contaminación artificial de las 16 partes del cuarteo inicial, se procedió a unirlos en grupos de 4, para después generar un solo sustrato contaminado</p>	<p>Descripción: Se puede apreciar que el suelo contaminado con Diésel presenta un color oscuro con respecto al suelo nativo sin contaminar.</p>

<p>Figura 39</p> <p><i>Suelo Contaminado en los Microcosmos</i></p> 	<p>Figura 40</p> <p><i>Muestras para Análisis de Hidrocarburos</i></p> 
<p>Descripción: Se estableció la cantidad de 50kg de suelo ya contaminado en cada microcosmo experimental.</p>	<p>Descripción: Con el suelo nativo contaminado, y ya presente en cada microcosmo, se realizó la toma de muestra para determinar la concentración final de hidrocarburos.</p>
<p>Figura 41</p> <p><i>Lodo Residual Estabilizado para el Microcosmo</i></p> 	<p>Figura 42</p> <p><i>Mezcla del Lodo Residual con el Suelo Contaminado</i></p> 
<p>Descripción: El lodo residual higienizado presenta una compactación visible, lo que dificulta su mezcla con el suelo, por ello, el lodo residual debe pasar por un tamizado de 2mm.</p>	<p>Descripción: Con el lodo residual higienizado y tamizado, se procedió a realizar la mezcla con el suelo contaminado, lo cual formó el nuevo sustrato que conforma el microcosmo M1, y M2.</p>

Anexo N° 7. Informes de Ensayo de Laboratorio – CERPER

7.1. Informes de los Ensayos de la Laboratorio del Pretratamiento en el Suelo Nativo
Informe del Nitrógeno Total presente en el Suelo Nativo



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-09914/21 Pág. 1/3

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : SUELO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 1 kg
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : LUGAR DE MUESTREO: INDEPENDENCIA
FECHA Y HORA DEL MUESTREO: 2021-09-10

Forma de Presentación : En potes de plástico preservados, cerrados y refrigerados

Fecha de recepción : 2021 - 09 - 10

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 10

Fecha de término del ensayo : 2021 - 09 - 20

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / ICP-AA

Identificado con : HIS 21007601 (EXMA-10991-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Ambiental:

MR - 001 / 8:00 am

Ensayo	Unidad	Resultado
(*) Nitrógeno Total	g/100 g	0,04

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



LABORATORIO
VºBº
CERPER

AREQUIPA
Calle Toniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Suelo Nativo



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-09914/21



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 003

Pág. 1/3

Solicitante : **VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL**

Domicilio legal : **Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima**

Producto declarado : **SUELO**

Cantidad de Muestras para el Ensayo : **1 muestra x 1 kg**
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : **LUGAR DE MUESTREO: INDEPENDENCIA**
FECHA Y HORA DEL MUESTREO: 2021-09-10

Forma de Presentación : **En potes de plástico preservados, cerrados y refrigerados**

Fecha de recepción : **2021 - 09 - 10**

Fecha de inicio del ensayo : **2021 - 09 - 10**

Fecha de término del ensayo : **2021 - 09 - 20**

Ensayo realizado en : **Laboratorio Ambiental / ICP-AA**

Identificado con : **H/S 21007601 (EXMA-10991-2021)**

Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Análisis Ambiental:
MR - 002 / 8:02 am

Ensayo	Unidad	Resultado
(*) Carbono Orgánico Total	g/100 g	1,58

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de la Materia Orgánica presente en el Suelo Nativo



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-09914/21

Pág. 1/3

Solicitante	VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	1 muestra x 1 kg Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	LUGAR DE MUESTREO: INDEPENDENCIA FECHA Y HORA DEL MUESTREO: 2021-09-10
Forma de Presentación	En potes de plástico preservados, cerrados y refrigerados
Fecha de recepción	2021 - 09 - 10
Fecha de inicio del ensayo	2021 - 09 - 10
Fecha de término del ensayo	2021 - 09 - 20
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental / JCP-AA
Identificado con	H/S 21007601 (EXMA-10991-2021)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita

MR - 003 / 8:04 am

Ensayos	LDM	Unidad	Resultados
Materia Orgánica	0,01	g/100 g	2,73



LDM: Límite de detección del método
(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"

AREQUIPA

Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO

Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe de la Textura del Suelo Nativo



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-09914/21

Pág. 1/3

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : SUELO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 1 kg
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : LUGAR DE MUESTREO: INDEPENDENCIA
FECHA Y HORA DEL MUESTREO: 2021-09-10

Forma de Presentación : En potes de plástico preservados, cerrados y refrigerados

Fecha de recepción : 2021 - 09 - 10

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 10

Fecha de término del ensayo : 2021 - 09 - 20

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / ICP-AA

Identificado con : HIS 21007601 (EXMA-10991-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Ambiental:

Arcilla		g/100 g			16
Areña		g/100 g			64
(*) Textura					
Limo		g/100 g			20
Clase textural		g/100 g			FRANCO ARENOSO

LDM: Límite de detección del método
(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"



LABORATORIO
V.P. Bo
CERPER

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

Informe de los Metales Pesados presente en el Suelo Nativo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-09914/21

Pág. 2/3

Análisis ICP-AA:
MR-004 / 8:06 am

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	13 984
Antimonio (Sb)	0,02	mg/kg	<0,020
Arsénico (As)	0,05	mg/kg	19,34
Bario (Ba)	0,015	mg/kg	71,66
Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,4957
Calcio (Ca)	5	mg/kg	11 641
Cobalto (Co)	0,03	mg/kg	7,254
Cobre (Cu)	0,03	mg/kg	37,49
Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	3,412
Hierro (Fe)	1	mg/kg	18 562
Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas			
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	7 989
Manganeso (Mn)	0,025	mg/kg	432,3
Mercurio (Hg)	0,01	mg/kg	<0,010
Niquel (Ni)	0,035	mg/kg	5,822
Plata (Ag)	0,005	mg/kg	<0,0050
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	18,63
Potasio (K)	1	mg/kg	1 671
Selenio (Se)	0,05	mg/kg	<0,050
Sodio (Na)	1	mg/kg	284,7
Talio (Tl)	0,025	mg/kg	<0,0250
Vanadio (V)	0,05	mg/kg	40,94
Zinc (Zn)	0,05	mg/kg	73,79

LDM Límite de detección del método



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de los Microorganismos Heterótrofos presente en el Suelo Nativo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUÍZ

MUESTRA : SUELO

PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75363

BOLETA : 4796

FECHA : 04/11/2021

Código de muestra	Codigo de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
533	PS - 01	4.88	2.50×10^3
534	PS - 02	5.36	2.50×10^3
535	PS - 03	700.09	1.50×10^5

Dr. Sady García Bendezú
Jefe Laboratorio de Microbiología



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fotografía del Potencial de Hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Temperatura, y Humedad presente en el Suelo Nativo

Figura 43

Potencial de Hidrógeno del Suelo Nativo



Figura 44

Conductividad Eléctrica del Suelo Nativo



Figura 45

Temperatura del Suelo Nativo



7.2. Informes de los Ensayos de la Laboratorio del Pretratamiento en el Lodo Residual

Informe de Coliformes Termotolerantes del Lodo Residual antes de la Higienización



INFORME DE ENSAYO N° 1-09475/21

Pág. 1/1

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
 Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
 Producto declarado : LODO
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 250 g
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : LUGAR DE MUESTREO: INDEPENDENCIA LR-001
 FECHA Y HORA DEL MUESTREO: 2021-09-10/ 08:10 AM
 Forma de Presentación : En pote de plástico preservado, cerrado y refrigerado
 Fecha de recepción : 2021 - 09 - 10
 Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 10
 Fecha de término del ensayo : 2021 - 09 - 14
 Ensayo realizado en : Laboratorio Microbiología (Callao)
 Identificado con : H/S 21007601 (EXMA-10991-2021)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	Unidad	Resultado
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 g	9 200 000

MÉTODOS

COLIFORMES TERMOTOLERANTES: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E1, 23 rd Ed.2017. Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 20 de septiembre de 2021
 RF

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


 ING. SONIA GARCÍA CANALES
 C.I.P. 33422
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe de Coliformes Termotolerantes del Lodo Residual después de la Higienización



INFORME DE ENSAYO N° 1-10703/21

Pág. 1/1

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
 Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
 Producto declarado : LODO
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 250 g
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : LR - 03
 FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2021-09-27 / 10:40
 Forma de Presentación : En pote de plástico cerrado y refrigerado
 Fecha de recepción : 2021 - 09 - 27
 Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 28
 Fecha de término del ensayo : 2021 - 10 - 01
 Ensayo realizado en : Laboratorio Microbiología (Callao)
 Identificado con : H/S 21008248 (EXMA-12137-2021)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	<18

MÉTODOS

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 23 rd Ed.2017, Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 16 de octubre de 2021
 AM



CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. SONIA GARCÍA CÁNALES
 C.I.P. 33422
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Nitrógeno Total presente en Lodo Residual Higienizado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-10300/21



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

Pág. 2/2

Análisis Físico Químico:

Hora de muestreo	Ensayos	LDM	Unidad	Resultados
09:06	(*) Nitrógeno Total	-	g/100 g	5,34

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"
LDM: Límite de detección del método

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A. Revision 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Carbono Orgánico Total:** Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1. (VALIDADO). 2007. Materia Orgánica. Calcincación a 550°C (lodos y suelos).

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcincación a 550°C (lodos y suelos)

(*) **Nitrógeno Total:** NOM 021 -SEMARNAT-2000. 2002. (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno Total 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 30 de septiembre de 2021 AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


ING. SONIA GARCIA CANALES
 C.I.P. 33422
 ASIST. GESTION LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Lodo Residual Higienizado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-10300/21

Pág. 2/2

Análisis Físico Químico:

Hora de muestreo	Ensayos	LDM	Unidad	Resultados
09:10	(*) Carbón Orgánico Total	7	g/100 g	39,12

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"
LDM. Límite de detección del método

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A, Revision 1, 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A, Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Carbón Orgánico Total:** Gobierno de Chile, Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero, Método 6.1. (VALIDADO), 2007, Materia Orgánica, Calcinción a 550°C (lodos y suelos).

Materia Orgánica: Gobierno de Chile, Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero, Método 6.1. (VALIDADO), Materia Orgánica, Calcinción a 550°C (lodos y suelos)

(*) **Nitrógeno Total:** NOM 021 -SEMARNAT-2000, 2002. (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos, Estudios, muestreo y Análisis, AS-25, Nitrógeno Total 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 30 de septiembre de 2021
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


ING. SONIA GARCÍA CANALES
 C. J. P. 33422
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA

Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO

Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de la Materia Orgánica presente en el Lodo Residual Higienizado



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-10300/21

Pág. 2/2

Análisis Físico Químico:

Hora de muestreo	Ensayos	LDM	Unidad	Resultados
09:14	Materia Orgánica	0,01	g/100 g	67,45

Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA
LDM: Límite de detección del método

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A, Revision 1, 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A, Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) Carbono Orgánico Total: Gobierno de Chile, Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1. (VALIDADO). 2007. Materia Orgánica. Calcinación a 550°C (lodos y suelos).

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1. (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcinación a 550°C (lodos y suelos)

(*) Nitrógeno Total: NOM 021 -SEMARNAT-2000. 2002. (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno Total 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 30 de septiembre de 2021
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. SONIA GARCIA CANALES
C. J. P. 33422
ASIST. GESTION LABORATORIOS

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

Informe de los Metales Pesados presente en el Lodo Residual Higienizado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-10300/21



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

Pág. 1/2

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : LODO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 1 kg
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : LR-001
FECHA DE MUESTREO: 2021-09-17

Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados y refrigerados

Fecha de recepción : 2021 - 09 - 17

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 17

Fecha de término del ensayo : 2021 - 09 - 29

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / ICP-AA

Identificado con : H/S 21007891 (EXMA-11683-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Metales Totales ICP-MS:

Hora de muestreo	Ensayo	LDM	Unidad	Resultados	
09:20	Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	4 785	
	Antimonio (Sb)	0,02	mg/kg	0,7851	
	Arsénico (As)	0,05	mg/kg	5,785	
	Bario (Ba)	0,015	mg/kg	119,3	
	Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015	
	Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	1,788	
	Calcio (Ca)	5	mg/kg	37 660	
	Cobalto (Co)	0,03	mg/kg	2,930	
	Cobre (Cu)	0,03	mg/kg	111,6	
	Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	269,3	
	Hierro (Fe)	1	mg/kg	5 462	
	Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas				
	Magnesio (Mg)	1	mg/kg	4 758	
	Manganeso (Mn)	0,025	mg/kg	204,6	
	Mercurio (Hg)	0,01	mg/kg	0,8272	
	Níquel (Ni)	0,035	mg/kg	35,07	
	Plata (Ag)	0,005	mg/kg	1,156	
	Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	44,72	
	Potasio (K)	1	mg/kg	5 085	
	Selenio (Se)	0,05	mg/kg	1,910	
Sodio (Na)	1	mg/kg	1 628		
Talio (Tl)	0,025	mg/kg	0,04716		
Vanadio (V)	0,05	mg/kg	14,48		
Zinc (Zn)	0,05	mg/kg	687,06		

LDM: Límite de detección del método



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de los Microorganismos Heterótrofos presente en el Lodo Residual



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUIZ

MUESTRA : SUELO

PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75363

BOLETA : 4796

FECHA : 04/11/2021

Código de muestra	Código de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
533	PS - 01	4.88	2.50×10^3
534	PS - 02	5.36	2.50×10^3
535	PS - 03	700.09	1.50×10^4

Dr. Sady García Bendezú
Jefe Laboratorio de Microbiología




Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fotografía del Potencial de Hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Temperatura, y Humedad presente en Lodo Residual

Figura 46

Potencial de Hidrógeno del Lodo Residual Higienizado



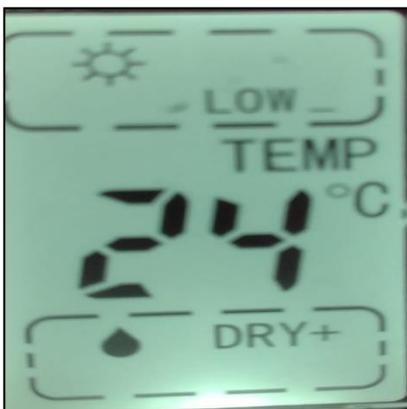
Figura 47

Conductividad Eléctrica del Lodo Residual Higienizado



Figura 48

Temperatura del Lodo Residual Higienizado



7.3. Informes de los Ensayos de la Laboratorio del Pretratamiento en el Suelo Contaminado

Informe del Nitrógeno Total presente en el Suelo Contaminado



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-11172/21

Pág. 2/2

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Unidad	Resultados
(*) Nitrógeno total	g/100 g	0,05

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"

MÉTODOS

Metalos Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A, Revision 1, 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Carbón Orgánico Total:** NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40) (Validado): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcincación a 550°C (lodos y suelos)

(*) **Nitrógeno total:** NOM 021 RECNAT-2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 16 de octubre de 2021
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Suelo Contaminado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-11172/21

Pág. 2/2

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Unidad	Resultados
(*) Carbón Orgánico Total	g/100 g	2,91

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A. Revisión 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) Carbón Orgánico Total: NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40) (Validado): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcincación a 550°C (todos y suelos)

(*) Nitrogeno total: NOM 021 RECNAT-2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 16 de octubre de 2021
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


ING. SONIA GARCÍA CANALES
 C.I.P. 33422
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este Informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de la Materia Orgánica presente en el Suelo Contaminado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-11172/21

Pág. 2/2

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO:

Ensayos	Unidad	Resultados
Materia Orgánica	g/100 g	5,02

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A, Revisión 1, 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Carbón Orgánico Total:** NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40) (Validado): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero, 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcincación a 550°C (todos y suelos)

(*) **Nitrogeno total:** NOM 021 RECNAT-2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 16 de octubre de 2021

AM:

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este Informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de los Metales Pesados presente en el Suelo Contaminado



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-11172/21

Pág. 1/2

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : SUELO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 1,5 kg
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : ST - 01

Fecha y hora de muestreo : FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2021-09-27 / 10:30

Forma de Presentación : En potes de plástico, frascos de vidrio ámbar, cerrados y refrigerados

Fecha de recepción : 2021 - 09 - 27

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 09 - 28

Fecha de término del ensayo : 2021 - 10 - 15

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía / ICP-AA

Identificado con : H/S 21008248 (EXMA-12137-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis ICP-AA:

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	10 905
Antimonio (Sb)	0,02	mg/kg	<0,020
Arsénico (As)	0,05	mg/kg	15,26
Bario (Ba)	0,015	mg/kg	69,37
Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,4303
Calcio (Ca)	5	mg/kg	10 656
Cobalto (Co)	0,03	mg/kg	8,188
Cobre (Cu)	0,03	mg/kg	31,84
Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	<0,050
Hierro (Fe)	1	mg/kg	17 372
Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas			
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	7 030
Manganeso (Mn)	0,025	mg/kg	448,6
Mercurio (Hg)	0,01	mg/kg	<0,010
Níquel (Ni)	0,035	mg/kg	6,275
Plata (Ag)	0,005	mg/kg	<0,0050
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	16,71
Potasio (K)	1	mg/kg	1 547
Selenio (Se)	0,05	mg/kg	<0,050
Sodio (Na)	1	mg/kg	432,9
Talio (Tl)	0,025	mg/kg	<0,0250
Vanadio (V)	0,05	mg/kg	31,04
Zinc (Zn)	0,05	mg/kg	71,16

LDM Límite de detección del método



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe de Hidrocarburos Totales de Petróleo presente en el Suelo Contaminado



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-11172/21



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

Pág. 2/2

Análisis Cromatografía-GC:

Ensayo	LCM	Unidad	Resultado
Hidrocarburos Totales (C10-C40)	53,79	mg/kg	22 450,768
LCM Límite de cuantificación del método			

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A, Revision 1, 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A, Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) Carbón Orgánico Total: NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40) (Validado): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica, Calcincación a 550°C (lodos y suelos)

(*) Nitrogeno total: NOM 021 RECNAT-2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

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

Callao, 16 de octubre de 2021

AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 39422
ASIST. GESTION LABORATORIOS

AREQUIPA Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCCIONADO CONFORME A LA LEY. POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de Microorganismos Heterótrofos presente en el Suelo Contaminado



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUIZ

MUESTRA : SUELO

PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75363

BOLETA : 4796

FECHA : 04/11/2021

Código de muestra	Codigo de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
533	PS - 01	4.88	2.50×10^3
534	PS - 02	5.36	2.50×10^3
535	PS - 03	700.09	1.50×10^5

Dr. Sady Garcia Bendezú
Jefe Laboratorio de Microbiología



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

7.4. Informes de Ensayo del Laboratorio de los Tratamientos de Microcosmos

Informe del Nitrógeno Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 20



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-12025/21

Pág. 1/1

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : SUELO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 3 muestras x 1 kg c/u
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : FECHA DE MUESTREO: 21/10/21
Según se indica

Forma de Presentación : En frasco plástico, vidrio, cerrado y refrigerado

Fecha de recepción : 2021 - 10 - 21

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 10 - 21

Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 03

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía

Identificado con : H/S 21009009 (EXMA-13312-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Unidad	Muestras / Resultados		
		CN-01, HORA: 07:00	M1-01, HORA : 07:05	M2-01, HORA: 07:10
(*) Nitrógeno total	g/100 g	0,05	0,25	0,43

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"

MÉTODOS

(*) **Carbono Orgánico:** Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1 (VALIDADO), 2007. Materia Orgánica. Calcinación a 550°C (lodos y suelos).

(*) **Nitrógeno total:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.

Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003.Nonhalogenated Organics Using GC/FID

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 05 de noviembre de 2021
BC

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTION LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

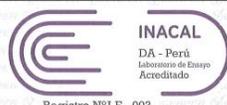
AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 20

		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003				
INFORME DE ENSAYO N° 1-12025/21						
Pág. 1/1						
Solicitante	VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL					
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima					
Producto declarado	SUELO					
Cantidad de Muestras para el Ensayo	3 muestras x 1 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante					
Identificación de la muestra	FECHA DE MUESTREO: 21/10/21 Según se indica					
Forma de Presentación	En frasco plástico, vidrio, cerrado y refrigerado					
Fecha de recepción	2021 - 10 - 21					
Fecha de inicio del ensayo	2021 - 10 - 21					
Fecha de término del ensayo	2021 - 11 - 03					
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía					
Identificado con	H/S 21009009 (EXMA-13312-2021)					
Validez del documento	Este documento es válido solo para las muestras descritas					
Análisis Físico Químico:						
Ensayos	Unidad	Muestras / Resultados				
		CN-01, HORA: 07:00	M1-01, HORA : 07:05	M2-01, HORA: 07:10		
(*) Carbono Orgánico	g/100 g	2,96	3,76	4,46		
MÉTODOS						
(*) Carbono Orgánico: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1 (VALIDADO). 2007. Materia Orgánica. Calcinación a 550°C (lodos y suelos).						
(*) Nitrógeno total: NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.						
Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003.Nonhalogenated Organics Using GC/FID						
OBSERVACIONES						
Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.						
Callao, 05 de noviembre de 2021 BC		CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.  ING. SONIA GARCÍA CANALES C.I. PJ 33422 ASIST. GESTION LABORATORIOS				
<i>"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"</i>						
AREQUIPA Calle Teniente Rodríguez N° 1415 Miraflores - Arequipa T. (054) 265572			CALLAO Oficina Principal Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao T. (511) 319 9000			
info@cerper.com - www.cerper.com						

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Hidrocarburo Totales de Petróleo presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 20



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-12025/21

Pág. 1/1

Solicitante	: VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	: Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	: SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	: 3 muestras x 1 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	: FECHA DE MUESTREO: 21/10/21 Según se indica
Forma de Presentación	: En frasco plástico, vidrio, cerrado y refrigerado
Fecha de recepción	: 2021 - 10 - 21
Fecha de inicio del ensayo	: 2021 - 10 - 21
Fecha de término del ensayo	: 2021 - 11 - 03
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía
Identificado con	: H/S 21009009 (EXMA-13312-2021)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Cromatografía-GC:

Ensayo	LCM	Unidad	Muestras / Resultados	
			CN-01, HORA: 07:00	M1-01, HORA: 07:05
Hidrocarburos Totales (C10-C40)	190,664	mg/kg	18 999,162	11 813,553

LCM Límite de cuantificación del método

MÉTODOS

(*) **Carbono Orgánico:** Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Método 6.1 (VALIDADO). 2007. Materia Orgánica. Calcinación a 550°C (lodos y suelos).

(*) **Nitrógeno total:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.

Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 05 de noviembre de 2021
BC

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de Microorganismos Heterótrofos presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 20



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUÍZ

MUESTRA : SUELO

PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75484

BOLETA : 4838

FECHA : 12/11/2021

Código de muestra	Código de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
602	CN - 01	3.84	1.50×10^3
603	M1 - 01	16.35	2.50×10^4
604	M2 - 01	31.32	9.50×10^4


Dr. Sady García Bendezú
Jefe Laboratorio de Microbiología




Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Informe del Nitrógeno Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 40



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-12826/21

Pág. 1/1

Solicitante	: VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	: Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	: SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	: 3 muestras x 0,75 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	: Según se indica
Forma de Presentación	: En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado
Fecha de recepción	: 2021 - 11 - 15
Fecha de inicio del ensayo	: 2021 - 11 - 15
Fecha de término del ensayo	: 2021 - 11 - 22; 12 - 04
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental / Físico Cromatografía
Identificado con	: H/S 21009723 (EXMA-14417-2021)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Ambiental:

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados		
			M1-02	M2-02	CN-02
(*) Nitrógeno total (NOM)	0,014	g/100 g	0,28	0,37	0,07

LDM: Límite de detección del método
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"

MÉTODOS

(*) **Carbón Orgánico Total:** NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003. Nonhalogenated Organics Using GC/FID

(*) **Nitrógeno total (NOM):** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 05 de diciembre de 2021
AA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C. I. P. 43422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 40



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-12826/21

Pág. 1/1

Solicitante	: VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	: Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	: SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	: 3 muestras x 0,75 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	: Según se indica
Forma de Presentación	: En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado
Fecha de recepción	: 2021 - 11 - 15
Fecha de inicio del ensayo	: 2021 - 11 - 15
Fecha de término del ensayo	: 2021 - 11 - 22; 12 - 04
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental / Físico Cromatografía
Identificado con	: HIS 21009723 (EXMA-14417-2021)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Ambiental:

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados		
			M1-02	M2-02	CN-02
(*) Carbono Orgánico Total	-	g/100 g	2,66	3,17	2,80
(*) Nitrogeno total (NOM)	0,014	g/100 g	0,28	0,27	0,27

LDM: Límite de detección del método
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Análisis Cromatografía:

MÉTODOS

(*) Carbono Orgánico Total: NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003.Nonhalogenated Organics Using GC/FID

(*) Nitrogeno total (NOM): NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos, Estudio, muestreo y Análisis. AS-25, Nitrogeno total. 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 05 de diciembre de 2021
AA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Hidrocarburo Totales de Petróleo presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 40



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-12826/21

Pág. 1/1

Solicitante : VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL

Domicilio legal : Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima

Producto declarado : SUELO

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 3 muestras x 0,75 kg c/u
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : Según se indica

Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado

Fecha de recepción : 2021 - 11 - 15

Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 11 - 15

Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 22; 12 - 04

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Físico Cromatografía

Identificado con : H/S 21009723 (EXMA-14417-2021)

Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Cromatografía:

Ensayo	LCM	Unidad	Resultados		
			M1-02	M2-02	CN-02
Hidrocarburos Totales (C10-C40)	190,664	mg/kg	8 137,5	7 054,6	19 829,4
<small>LCM.Límite de cuantificación del método</small>					

MÉTODOS

(*) **Carbón Orgánico Total:** NOM 021-REC/NAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 D.2003.Nonhalogenated Organics Using GC/FID

(*) **Nitrogeno total (NOM):** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 05 de diciembre de 2021
AA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de Microorganismos Heterótrofos presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 40



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUÍZ

MUESTRA : SUELO

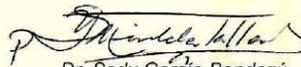
PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75677

BOLETA : 8229

FECHA : 14/12/2021

Código de muestra	Codigo de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
646	M1 - 02	12.46	9.50×10^5
647	M2 - 02	27.44	9.50×10^4
648	CN - 02	3.59	4.50×10^2


Dr. Sady García Bendezú
Jefe Laboratorio de Microbiología




Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Informe de Microorganismos Heterótrofos presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 60



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : VÍCTOR MANUEL VERGARAY RUÍZ

MUESTRA : SUELO

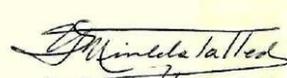
PROCEDENCIA: LIMA/ LIMA/ INDEPENDENCIA

REFERENCIA : H.R. 75853

BOLETA : 8298

FECHA : 22/12/2021

Código de muestra	Codigo de campo	Humedad gravimétrica (%)	<i>Pseudomonas</i> sp.
663	CN - 03	3.47	4.50×10^3
664	M1- 03	20.10	7.50×10^5
665	M2 - 03	30.86	1.50×10^5


Dr. Sady García Bendezú

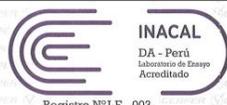
Jefe Laboratorio de Microbiología




Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe Laboratorio de Suelos

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Informe del Hidrocarburo Totales de Petróleo presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 80

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003			
	INFORME DE ENSAYO N° 1-00158/22			
Pág. 1/1				
Solicitante	VERGARAY RUIZ VICTOR MANUEL			
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima			
Producto declarado	SUELO			
Cantidad de Muestras para el Ensayo	3 muestras x 400 g c/u Muestra proporcionada por el solicitante			
Identificación de la muestra	FECHA DE MUESTREO: 2021-12-18 Según se indica			
Forma de Presentación	En frasco de vidrio, cerrado, refrigerado y preservado.			
Fecha de recepción	2021 - 12 - 18			
Fecha de inicio del ensayo	2021 - 12 - 21			
Fecha de término del ensayo	2022 - 01 - 07			
Ensayo realizado en	Laboratorio de Físico Química - Cromatografía			
Identificado con	H/S 21010931 (EXMA-16269-2021)			
Validez del documento	Este documento es válido solo para las muestras descritas.			

Ensayo	LCM	Unidad	Muestras / Resultados		
			CN-03 - HORA 06:00	M1-03 - HORA 06:05	M2-03 - HORA 06:10
Hidrocarburos Totales (C10-C40)	190,664	mg/kg	20 394,9	4 786,01	3 346,1

LCM.Límite de cuantificación del método

MÉTODO
Hidrocarburos Totales (C10-C40): EPA Method 8015 C.2007.Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography.

OBSERVACIONES
Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 07 de enero de 2022
BC

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


 ING. SONIA GARCIA CANALES
 C.I.P. 33422
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA Calle Teniente Rodríguez N° 1415 Miraflores - Arequipa T. (054) 265572	CALLAO Oficina Principal Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao T. (511) 319 9000
--	---

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe del Nitrógeno Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 100

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003			
	INFORME DE ENSAYO N° 1-01320/22			
			Pág. 1/1	
Solicitante	VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL			
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima			
Producto declarado	SUELO			
Cantidad de Muestras para el Ensayo	3 muestras x 1,2 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante			
Identificación de la muestra	FECHA DE MUESTREO: 22/01/22 Según se indica			
Forma de Presentación	En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.			
Fecha de recepción	2022 - 01 - 22			
Fecha de inicio del ensayo	2022 - 01 - 22			
Fecha de término del ensayo	2022 - 02 - 08			
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía			
Identificado con	H/S 22000514 (EXMA-00676-2022)			
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.			
Análisis Físico Químico:				
Ensayos	Unidad	Muestras / Resultado		
		CN-05, HORA: 08:00	M1-05, HORA: 08:10	M2-05, HORA: 08:15
(*) Nitrógeno total	g/100 g	0,06	0,26	0,37
(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"				
MÉTODOS				
(*) Carbono Orgánico: NOM 021 – SEMARNAT-2000.2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-07. 7.1.7.				
(*) Nitrógeno total: NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40): EPA Method 8015 C. 2007. Nonhalogenated Organics By Gas Chromatography.				
OBSERVACIONES				
Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.				
Callao, 08 de febrero de 2022 AM				
 CERTIFICACIONES DEL PERU S.A. ING. SONIA GARCÍA CANALES C.I.P. 33422 ASIST. GESTION LABORATORIOS				
<i>"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"</i>				
AREQUIPA Calle Teniente Rodríguez N° 1415 Miraflores - Arequipa T. (054) 265572		CALLAO Oficina Principal Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao T. (511) 319 9000		
info@cerper.com - www.cerper.com				

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Carbono Orgánico Total presente en el Microcosmo Control, Microcosmos Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 100

		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003				
INFORME DE ENSAYO N° 1-01320/22						
Pág. 1/1						
Solicitante	VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL					
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima					
Producto declarado	SUELO					
Cantidad de Muestras para el Ensayo	3 muestras x 1,2 kg c/u Muestra proporcionada por el solicitante					
Identificación de la muestra	FECHA DE MUESTREO: 22/01/22 Según se indica					
Forma de Presentación	En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.					
Fecha de recepción	2022 - 01 - 22					
Fecha de inicio del ensayo	2022 - 01 - 22					
Fecha de término del ensayo	2022 - 02 - 08					
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía					
Identificado con	H/S 22000514 (EXMA-00676-2022)					
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.					
Análisis Físico Químico:						
Ensayos	Unidad	Muestras / Resultado				
		CN-05, HORA: 08:00	M1-05, HORA: 08:10	M2-05, HORA: 08:15		
(*) Carbón Orgánico Total	g/100 g	2,48	2,22	2,63		
MÉTODOS						
(*) Carbono Orgánico: NOM 021 – SEMARNAT-2000.2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-07. 7.1.7.						
(*) Nitrógeno total: NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40): EPA Method 8015 C. 2007. Nonhalogenated Organics By Gas Chromatography.						
OBSERVACIONES						
Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.						
Callao, 08 de febrero de 2022 AM						
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.						
 ING. SONIA GARCÍA CANALES C. I. P. 33422 ASIST. GESTION LABORATORIOS						
<i>“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”</i>						
AREQUIPA Calle Teniente Rodríguez N° 1415 Miraflores - Arequipa T. (054) 265572			CALLAO Oficina Principal Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao T. (511) 319 9000			
info@cerper.com - www.cerper.com						

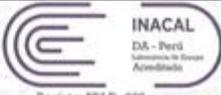
PEL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Informe del Hidrocarburo Totales de Petróleo presente en el Microcosmo Tratamiento 1 (M1), y Microcosmo Tratamiento 2 (M2) durante el día 100



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-01320/22

Pág. 1/1

Solicitante : **VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL**

Domicilio legal : **Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima**

Producto declarado : **SUELO**

Cantidad de Muestras para el Ensayo : **3 muestras x 1,2 kg c/u**
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : **FECHA DE MUESTREO: 22/01/22**
Según se indica

Forma de Presentación : **En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.**

Fecha de recepción : **2022 - 01 - 22**

Fecha de inicio del ensayo : **2022 - 01 - 22**

Fecha de término del ensayo : **2022 - 02 - 08**

Ensayo realizado en : **Laboratorio Ambiental / Físico Química - Cromatografía**

Identificado con : **H/S 22000514 (EXMA-00676-2022)**

Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita.**

Análisis Cromatografía-GC:

Ensayo	LCM	Unidad	Muestras / Resultado	
			M1-05, HORA: 08:10	M2-05, HORA: 08:15
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	190,864	mg/kg	2 624	1 121

LCM Límite de cuantificación del método.

MÉTODOS

(*) **Carbono Orgánico:** NCM 021 – SEMARNAT-2000-2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-07. 7.1.7.

(*) **Nitrógeno total:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y Análisis. AS-25. Nitrógeno total. 7.3.17.

Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40): EPA Method 8015 C. 2007. Nonhalogenated Organics By Gas Chromatography.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 08 de febrero de 2022
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe del Metales Pesados presente en el Microcosmo M2



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-01321/22

Pág. 2/2

Análisis ICP-AA:

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	11 024
Antimonio (Sb)	0,02	mg/kg	<0,020
Arsénico (As)	0,05	mg/kg	16,25
Bario (Ba)	0,015	mg/kg	899,0
Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,4373
Calcio (Ca)	5	mg/kg	54 626
Cobalto (Co)	0,03	mg/kg	5,082
Cobre (Cu)	0,03	mg/kg	28,51
Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	29,91
Hierro (Fe)	1	mg/kg	11 729
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	13 533
Manganeso (Mn)	0,025	mg/kg	387,5
Mercurio (Hg)	0,01	mg/kg	0,2179
Níquel (Ni)	0,035	mg/kg	8,649
Plata (Ag)	0,005	mg/kg	<0,0050
Piombo (Pb)	0,02	mg/kg	21,19
Potasio (K)	1	mg/kg	1 788
Selenio (Se)	0,05	mg/kg	<0,050
Sodio (Na)	1	mg/kg	341,1
Talio (Tl)	0,025	mg/kg	<0,0250
Vanadio (V)	0,05	mg/kg	24,10
Zinc (Zn)	0,05	mg/kg	121,59

LDM: Límite de detección del método

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-MS en muestras sólidas: EPA METHOD 6020A. Revision 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Textura:** NOM 021-SEMARNAT-2000. 2002. (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreo y Análisis. AS-09. Determinación de la textura en suelos 7.1.9.

(*) **Coliformes Termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E1, 23 rd Ed Ed 2017. Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC medium)

Materia Orgánica: Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 6.1 (VALIDADO). Materia Orgánica. Calcinción a 550°C (todos y suelos)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 08 de febrero de 2022
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SONIA GARCÍA CANALES
C.I.P. 33422
ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de la Materia Orgánica, y Textura del Suelo presente en el Microcosmo M2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-01321/22

Pág. 1/2

Solicitante	VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	1 muestra x 750 g Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	MMC-01 FECHA DE MUESTREO: 22/01/22 HORA DE MUESTREO: 08:20
Forma de Presentación	En frascos de plástico, cerrados y refrigerados
Fecha de recepción	2022 - 01 - 22
Fecha de inicio del ensayo	2022 - 01 - 22
Fecha de término del ensayo	2022 - 01 - 28
Ensayo realizado en	Laboratorio Microbiología (Callao) / Ambiental / ICP-AA
Identificado con	H/S 22000514 (EXMA-00676-2022)
Validez del documento	Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Ambiental :

Ensayos	LDM	Unidad	Resultados
Materia Orgánica	0,01	g/100 g	7,06
(*) Textura	Arcilla	-	6
	Arena	-	60
	Limo	-	34
	Clase textural	-	FRANCO ARENOSO

LDM: Límite de detección del método
(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Informe de los Coliformes Termotolerantes presente en el Microcosmo M2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 1-01321/22

Pág. 1/2

Solicitante	: VERGARAY RUIZ, VICTOR MANUEL
Domicilio legal	: Calle Santa Rosa N° 1119 El Milagro - Independencia - Lima
Producto declarado	: SUELO
Cantidad de Muestras para el Ensayo	: 1 muestra x 750 g Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	: MMC-01 FECHA DE MUESTREO: 22/01/22 HORA DE MUESTREO: 08:20
Forma de Presentación	: En frascos de plástico, cerrados y refrigerados
Fecha de recepción	: 2022 - 01 - 22
Fecha de inicio del ensayo	: 2022 - 01 - 22
Fecha de término del ensayo	: 2022 - 01 - 28
Ensayo realizado en	: Laboratorio Microbiología (Callao) / Ambiental / ICP-AA
Identificado con	: H/S 22000514 (EXMA-00676-2022)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
(*) Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	<18

(*) "Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA"



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo N° 8. Registro Diario del Potencial de Hidrógeno en los Tratamientos de los Microcosmos

Tabla 49

Variación del Potencial de Hidrógeno – Primero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100 : 000	Control	6.81	6.83	6.82	6.80	6.81	6.85	6.92	6.88	6.81	6.87
70 : 30	M1	6.63	6.61	6.60	6.54	6.52	6.57	6.68	6.65	6.58	6.64
50 : 50	M2	6.65	6.64	6.65	6.61	6.61	6.62	6.65	6.63	6.60	6.67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50

Variación del Potencial de Hidrógeno – Segundo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
100 : 000	Control	7.00	6.86	6.76	6.73	6.76	6.79	7.09	7.10	7.39	7.59
70 : 30	M1	6.87	6.74	6.66	6.62	6.69	6.73	6.83	6.97	7.05	7.32
50 : 50	M2	6.83	6.68	6.61	6.58	6.59	6.61	6.76	6.84	6.84	7.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51

Variación del Potencial de Hidrógeno – Tercero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
100 : 000	Control	7.72	7.42	7.11	7.53	7.28	7.32	7.38	6.97	7.12	7.18
70 : 30	M1	7.62	7.05	7.12	7.12	7.02	7.02	7.20	6.87	6.80	6.91
50 : 50	M2	7.10	6.78	7.04	7.00	7.12	7.01	7.06	6.89	6.72	6.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52
Variación del Potencial de Hidrógeno – Cuarto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
100 : 000	Control	7.25	7.10	7.27	7.23	7.48	7.69	7.71	7.84	7.74	7.81
70 : 30	M1	7.07	6.97	7.11	7.03	7.22	7.11	7.33	7.31	7.22	7.31
50 : 50	M2	6.96	6.87	6.89	6.80	7.00	7.12	7.10	7.11	7.11	7.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53
Variación del Potencial de Hidrógeno – Quinto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
100 : 000	Control	7.93	7.82	7.93	7.97	7.95	8.01	7.93	8.14	8.09	8.05
70 : 30	M1	7.37	7.30	7.42	7.47	7.48	7.50	7.43	7.51	7.51	7.43
50 : 50	M2	7.08	7.12	7.27	7.17	7.20	7.20	7.21	7.22	7.24	7.24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54
Variación del Potencial de Hidrógeno – Sexto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
100 : 000	Control	7.82	8.24	8.23	8.19	8.17	8.18	8.21	8.20	8.22	8.21
70 : 30	M1	7.54	7.21	7.53	7.60	7.35	7.45	7.43	7.46	7.45	7.44
50 : 50	M2	7.11	7.17	7.35	7.11	7.18	7.18	7.15	7.16	7.12	7.15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55

Variación del Potencial de Hidrógeno – Séptimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
100 : 000	Control	8.20	8.18	8.15	8.15	8.14	8.12	8.13	8.15	8.14	8.10
70 : 30	M1	7.50	7.47	7.53	7.52	7.55	7.58	7.56	7.60	7.57	7.60
50 : 50	M2	7.22	7.24	7.25	7.23	7.23	7.26	7.30	7.28	7.32	7.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

Variación del Potencial de Hidrógeno – Octavo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
100 : 000	Control	8.12	8.10	8.09	8.05	8.10	8.00	8.07	8.10	8.08	7.88
70 : 30	M1	7.58	7.60	7.56	7.58	7.57	7.23	7.56	7.55	7.54	7.40
50 : 50	M2	7.32	7.36	7.42	7.35	7.32	7.21	7.38	7.44	7.42	7.52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

Variación del Potencial de Hidrógeno – Noveno Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
100 : 000	Control	8.14	8.18	8.11	8.12	8.00	8.32	8.16	8.20	8.16	8.05
70 : 30	M1	7.66	7.64	7.69	7.67	7.70	7.82	7.80	7.89	7.83	7.81
50 : 50	M2	7.62	7.50	7.47	7.53	7.55	7.57	7.61	7.61	7.59	7.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58

Variación del Potencial de Hidrógeno – Décimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Potencial de Hidrógeno (pH)									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
100 : 000	Control	8.00	7.91	8.07	8.03	8.03	7.98	8.09	8.00	8.00	8.02
70 : 30	M1	7.69	7.57	7.61	7.71	7.69	7.44	7.57	7.70	7.63	7.70
50 : 50	M2	7.54	7.73	7.43	7.48	7.54	7.31	7.70	7.47	7.46	7.53

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 9. Registro Diario de la Conductividad Eléctrica en los Tratamientos de los Microcosmos

Tabla 59

Variación de la Conductividad Eléctrica – Primero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100 : 000	Control	467	463	454	452	455	465	476	486	551	574
70 : 30	M1	1127	1146	1149	1174	1271	1190	1151	1098	1061	1233
50 : 50	M2	1507	1556	1568	1587	1603	1807	2243	2119	1892	1902

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60

Variación de la Conductividad Eléctrica – Segundo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
100 : 000	Control	669	637	513	616	627	666	562	640	510	569
70 : 30	M1	1473	1497	1506	1375	1389	1401	1367	1435	1275	1146
50 : 50	M2	1945	2051	2292	2182	2103	1898	1962	1808	2149	2646

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Variación de la Conductividad Eléctrica – Tercero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
100 : 000	Control	528	495	640	520	557	593	528	611	547	549
70 : 30	M1	1240	1327	1433	1385	1508	1225	1050	1405	1599	1366
50 : 50	M2	2145	1693	1745	2107	2145	2470	1767	1961	1931	2227

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62

Variación de la Conductividad Eléctrica – Cuarto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
100 : 000	Control	520	682	595	444	516	572	676	604	537	583
70 : 30	M1	1217	1304	1383	1405	1202	1444	1472	1640	1514	1610
50 : 50	M2	2329	1892	2228	2320	2136	1975	2243	2150	2126	2700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63

Variación de la Conductividad Eléctrica – Quinto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
100 : 000	Control	509	647	431	633	621	675	589	576	658	480
70 : 30	M1	1698	1645	1636	1584	1408	1649	1625	1673	1574	1719
50 : 50	M2	2127	2369	1870	2329	2256	2653	2331	2475	2139	2382

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64

Variación de la Conductividad Eléctrica – Sexto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
100 : 000	Control	537	539	641	640	653	645	641	643	650	648
70 : 30	M1	1355	1676	1781	1549	1706	1750	1745	1738	1742	1741
50 : 50	M2	1858	2510	2338	2594	2349	2367	2364	2360	2363	2361

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65

Variación de la Conductividad Eléctrica – Séptimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
100 : 000	Control	628	633	625	630	622	622	617	620	613	610
70 : 30	M1	1754	1749	1775	1893	2124	2335	2412	2500	2581	2713
50 : 50	M2	2415	2500	2830	2685	2763	2800	2823	2846	2836	2782

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66

Variación de la Conductividad Eléctrica – Octavo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
100 : 000	Control	613	615	604	612	610	593	560	550	562	502
70 : 30	M1	2447	2339	2334	2490	2382	2375	2368	2343	2327	2359
50 : 50	M2	2655	2633	2822	2870	2894	2979	2934	2777	2582	2639

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67

Variación de la Conductividad Eléctrica – Noveno Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
100 : 000	Control	502	515	460	504	519	537	606	611	605	606
70 : 30	M1	2155	2276	2230	2234	2227	2271	2344	2213	2120	2307
50 : 50	M2	2255	2667	2956	2590	2565	2718	2893	2761	2817	2925

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68

Variación de la Conductividad Eléctrica – Décimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Conductividad Eléctrica (uS/cm)									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
100 : 000	Control	588	591	625	576	640	601	614	572	660	657
70 : 30	M1	2319	2275	2522	2337	2175	2117	2309	2340	2247	2242
50 : 50	M2	2946	2837	2832	2962	2997	3018	2994	2996	3010	2963

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 10. Registro Diario de la Temperatura en los Tratamientos de los Microcosmos

Tabla 69

Variación de la Temperatura – Primero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100 : 000	Control	21	22	23	21	22	20	21	22	21	22
70 : 30	M1	22	23	22	23	23	23	21	22	21	22
50 : 50	M2	22	23	21	22	22	23	23	23	22	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70

Variación de la Temperatura – Segundo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
100 : 000	Control	22	22	20	19	20	20	21	19	18	21
70 : 30	M1	24	23	21	20	22	20	21	20	19	21
50 : 50	M2	22	24	24	25	24	23	23	21	20	21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Variación de la Temperatura – Tercero Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
100 : 000	Control	23	22	22	23	20	22	21	22	22	22
70 : 30	M1	25	22	23	24	20	23	22	23	24	23
50 : 50	M2	26	22	24	25	20	24	24	24	26	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72

Variación de la Temperatura – Cuarto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
100 : 000	Control	23	21	24	23	22	22	23	21	21	22
70 : 30	M1	24	21	26	24	23	22	24	21	21	23
50 : 50	M2	26	22	27	25	24	22	24	21	21	25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73

Variación de la Temperatura – Quinto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
100 : 000	Control	22	23	22	22	22	23	21	22	23	21
70 : 30	M1	22	24	23	22	22	24	21	23	24	21
50 : 50	M2	22	25	23	23	23	25	21	25	25	21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74

Variación de la Temperatura – Sexto Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
100 : 000	Control	24	21	20	21	21	22	21	21	21	21
70 : 30	M1	25	21	21	22	21	24	24	21	22	22
50 : 50	M2	27	22	21	23	22	26	25	21	22	23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75

Variación de la Temperatura – Séptimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
100 : 000	Control	23	24	23	22	23	22	23	25	24	24
70 : 30	M1	24	25	25	24	24	24	25	26	25	25
50 : 50	M2	25	25	26	24	24	24	25	27	26	26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76

Variación de la Temperatura – Octavo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
100 : 000	Control	23	23	23	24	23	24	24	24	23	25
70 : 30	M1	24	23	24	24	25	25	24	25	24	25
50 : 50	M2	24	24	26	25	26	25	25	26	25	28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77

Variación de la Temperatura – Noveno Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
100 : 000	Control	22	23	24	24	25	23	25	24	23	24
70 : 30	M1	24	23	25	25	26	24	25	24	23	24
50 : 50	M2	24	26	25	25	26	24	26	24	24	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78
Variación de la Temperatura – Décimo Diez Días

Suelo Contaminado : Lodo Residual	Tratamiento	Periodo de Ensayos (Diario)									
		Parámetro : Temperatura (°C)									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
100 : 000	Control	25	23	24	25	25	23	24	24	25	25
70 : 30	M1	25	24	26	25	25	25	25	27	27	26
50 : 50	M2	25	25	26	26	26	26	26	27	27	27

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 11. Presupuestario del Desarrollo Experimental

Tabla 79

Presupuesto de Materiales e Insumos

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo S/.
Materiales				
Pala metálica	1	1	14	14
Bolsa ziploc	Caja x 20 unidades	1	5	5
Ruedas Garrucha	2 pares	2	6.90	13.8
Cilindro Tapa Mecánica	1	1	30.90	30.9
Malla 2 mm	1	1	10	10
Piseta	1	1	5	5
Plástico para agricultura	1	12	2	24
Guantes de caucho	1 par	2	5.90	11.8
Lentes de protección	1	1	5	5
Mezclador metálico	1	1	15	15
Galón Plástico	2	2	3.0	6
Picota	1	1	11.9	11.9
Pulverizador	1	3	20	60
Listón de madera Pino	1	1	12.5	12.5
Sacos de polipropileno	5	5	0.5	2.5
Probeta	1	1	44	44
Vaso precipitado	1	1	4	4
Embudo	1	1	3	3
Tablero MDF	1	1	71.9	71.9
Total				350.3
<hr/>				
Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Insumos				
Suelo Franco Arenoso	8 bolsas	15	8.5	127.5
Agua Destilada	galón	5	15	75
Cal	20 kg	3	15.5	46.5
Diésel	5 Galón	1	20	20
Lodo Residual Deshidratado	-	-	-	-
Total				269

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80

Presupuesto de Equipos y Análisis de Laboratorio

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Equipos				
Balanza Digital 180 kg	1	1	30	30
Medidor Digital suelo 4 en 1	1	1	119	119
Multiparámetro	1	1	200	200
Balanza Digital 5 kg	1	1	19	19
Sierra Caladora	1	1	200	200
Taladro Inalámbrico	1	1	170	170
			Total	738
Concepto	-	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Análisis de Laboratorio				
Coliformes Termotolerantes	Servicio	3	42.63	127.89
Carbono Orgánico Total	Servicio	12	70	840
Nitrógeno Total	Servicio	12	78	936
Materia Orgánica	Servicio	4	38.35	153.4
Textura del Suelo	Servicio	2	60	120
Metales Totales	Servicio	4	162.5	650
Hidrocarburos Totales (C10-C40)	Servicio	13	220	2860
Pseudomonas sp.	Servicio	12	60	720
			Total	6407.29
			Total Final	7764.59

Fuente: Elaboración propia.