

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SECCION DE POSGRADO Y SEGUNDA ESPECIALIZACION



**“INFLUENCIA DE LA AIREACIÓN EN EL TRATAMIENTO
BIOLÓGICO DE BORRAS DE HIDROCARBUROS”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN:
GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
BRANIZA HERRERA PINEDO**

**ASESOR
Dr. GUY CARVAJAL CARRANZA**

**LIMA, PERÚ
2014**

AGRADECIMIENTO

Al apoyo brindado por mis padres, familiares, amigos y compañeros de trabajo de la Refinería Talara.

DEDICATORIA

A mis padres, Huilma Consuelo y Antonio Humberto.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	Pág. I
DEDICATORIA	Pág. II
ÍNDICE	Pág. III
SINTESIS	Pág. 1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	Pág. 5
1.1. Antecedentes	Pág. 5
1.2. Justificación	Pág. 8
1.3. Planeamiento del problema científico	Pág. 10
1.4. Hipótesis	Pág. 10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	Pág. 11
2.1. Definición de borras de hidrocarburos	Pág. 13
2.2. Generación de borras de hidrocarburos	Pág. 14
2.3. Biodegradabilidad de los compuestos recalcitrantes	Pág. 15
2.4. Biorremediación.	Pág. 17
CAPÍTULO III. OBJETIVOS	Pág. 23
CAPÍTULO IV. GLOSARIO DE TÉRMINOS	Pág. 24
CAPÍTULO V. MATERIALES Y MÉTODOS	Pág. 28
5.1. Materiales, herramientas y equipos	Pág. 29
5.1.1. En campo	Pág. 29
5.1.2. El equipo de aireación experimental	Pág. 30
5.1.3. Equipos, herramientas y reactivos utilizados en Laboratorio	Pág. 36
5.2. Desarrollo de la metodología	Pág. 38
5.3. Variables	Pág. 46
5.4. Análisis de laboratorio	Pág. 46
5.5. Presupuesto	Pág. 48
5.6. Procedimientos realizados en laboratorio	Pág. 52
5.6.1. Medición de TPH	Pág. 52
5.6.2. Medición de pH de borras de hidrocarburos y mezcla (borras de hidrocarburos, tierra y arena fina de playa no salinizada)	Pág. 57
5.6.3. Medición de temperatura de las borras de	Pág. 59

Hidrocarburos y la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra
y arena fina de playa no salinizada)

5.6.4. Medición de agua y sedimentos de borras de Hidrocarburos	Pág. 60
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	Pág. 61
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES	Pág. 73
CAPÍTULO VIII. RECOMENDACIONES	Pág. 76
CAPÍTULO IX. FUENTES DE INFORMACIÓN	Pág. 79
ANEXOS	Pág. 83
LISTA DE TABLAS	Pág. 107
LISTA DE FIGURAS	Pág. 108
ABREVIATURAS	Pág. 113

SINTESIS

La presente tesis trata del desarrollo a escala de laboratorio del proceso de tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos mediante el Sistema de Aireación, en la cual se comprobó la disminución de las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) a valores menores de $5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$.

El valor de $5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$, es el Límite Máximo Permisible (LMP) de TPH en suelos (0 - 0.30 m.) contaminados por hidrocarburos, propuesto por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

El tratamiento consistió en la mezcla de las borras de hidrocarburos con tierra agrícola y arena de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25 la que se sometió a un Sistema de Aireación de 30 y 60 rpm, por un periodo de 30 min/día, durante 75 días. Durante el tratamiento, esta mezcla estuvo expuesta a un rango de humedad [20 – 30 %], pH [7,1 – 7,3] y temperatura [17 – 27,0 °C].

Las borras de hidrocarburos empleadas provinieron de la Refinería de Talara de PETROPERU S.A, donde la concentración inicial de TPH fue igual a $23\,933\text{ mg.Kg}^{-1}$, valor que excede los LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos.

El TPH inicial de la mezcla fue igual a $13\,765\text{ mg.Kg}^{-1}$, valor que excede los LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos.

Durante el tratamiento, se realizaron cuatro (4) monitoreos durante los cuales se evidenció que en los monitoreos realizados en los días 42 y 62 de tratamiento de los Sistemas de Aireación de 60 y 30 rpm, respectivamente; el TPH fue menor a $5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$, es decir menor al LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos. Y, en el día 75 de tratamiento, el TPH llegó a $628,7\text{ mg.Kg}^{-1}$ y $884,8\text{ mg.Kg}^{-1}$ en los Sistemas de Aireación de 60 y 30 rpm, respectivamente; representado porcentajes de degradación de TPH iguales a 95,43 % y 93,57 %, respectivamente.

SUMMARY

This thesis is about the development in a scale laboratory of process of biological treatment of hydrocarbon dregs through Aeration System, in which checked the decrease of the concentrations of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) a lower values of 5 000 mg.Kg⁻¹.

The value of 5 000 mg.Kg⁻¹, is the Maximum Permissible Limit (LMP) of TPH in soil (0 - 0.30 m.) contaminated by hydrocarbons, proposed for the Directorate General of Mining Environmental Affairs (DGAAM) of the Ministry of Energy and Mines (MEM).

Treatment consisted of the mixture of the hydrocarbon dregs with agricultural land and sand beach not salinized in a proportion of 1:5:1.25 which was subjected to an Aeration System of 30 and 60 rpm, for a period of 30 min/day, for 75 days. During treatment, the mixture was exposed to a humidity range (20 to 30 %), pH (7.1 to 7.3) and temperature (17 to 27.0 °C).

Hydrocarbon dregs came from Talara refinery PETROPERU SA, where the first concentration of TPH was equal to 23 933 mg.Kg⁻¹, a value that exceeds the LMP of TPH in contaminated soil by hydrocarbons.

The first TPH of mixture was equal to 13 765 mg.Kg⁻¹, LMP value that exceeds the TPH in contaminated soils by hydrocarbon.

During processing, were did four (4) monitoring during which it became clear that the monitoring carried out on days 42 and 62 of treatment Aeration Systems 60 and 30 rpm, respectively; TPH was less than 5 000 mg.Kg⁻¹, namely is less than the LMP of TPH in contaminated soil by hydrocarbons. And, on day 75 of treatment, TPH reached 628.7 and 884.8 mg.Kg⁻¹ in the Aeration Systems 60 and 30 rpm, respectively; representing degradation percentage TPH equal to 95.43 % and 93.57 % respectively.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos generan mundialmente un problema de contaminación de los suelos y cuerpos de agua. Entre las más severas contaminaciones destacan las que se produjeron y todavía se producen a causa de la extracción y procesamiento del petróleo en todos los países productores de hidrocarburos de América Latina, principalmente en Venezuela, Brasil, México, Argentina y Ecuador; provocando un deterioro creciente de las fuentes de abastecimiento de agua superficial o subterránea ⁽¹⁾.

Lo que más complica la problemática de aquellos sitios contaminados por hidrocarburos, es que hasta hace pocos años prácticamente no existía una conciencia del grado de dificultad y del enorme costo que la remediación de los suelos y cuerpos de agua contaminados representan para la sociedad, haciéndose patente que resulta más caro remediar que prevenir ⁽¹⁾.

En ese sentido, en Latino América se están realizando experimentos con el objetivo de establecer una metodología de evaluación de la situación actual del manejo y disposición final de los residuos sólidos y semisólidos generados en las refinerías de petróleo, teniendo como marco de selección

aquella opción que permita reusar los residuos generados y minimizar los costos de tratamiento.

Estudios experimentales demuestran que los métodos biológicos (biorremediación) de descontaminación le aplicaron al tratamiento de suelo con alto y moderado contenido de hidrocarburos, realizando el seguimiento y control del proceso de remediación en función de los siguientes parámetros: TPH, Nitrógeno Amoniacal, Fósforo Disponible y recuento de microorganismos aeróbicos; obteniéndose una degradación de petróleo de hasta un 90 % dependiendo de la composición del petróleo y de la mezcla bacteriana utilizada ⁽²⁾.

Existen experimentos, donde se realizó la inoculación del material contaminado por petróleo con varias cepas de microorganismos combinados con aminoácidos, enzimas, vitaminas, minerales y nutrientes; mejorando así la bio-receptividad, la capacidad metabólica de las bacterias, y aumentando su capacidad de oxigenación y mineralización de los hidrocarburos; donde obtuvieron concentraciones de TPH \leq a 5 000 mg.kg⁻¹ en un periodo de 90 días de tratamiento. Cabe indicar que las áreas contaminadas fueron aireadas periódicamente con una herramienta de labranza y regadas ⁽¹⁾.

Similar experiencia se realizó en la Patagonia Central en suelos con un alto grado de contaminación por hidrocarburos, en la cual obtuvieron una degradación de suelo inoculado (la cepa inoculada fue *Dietzia maris* CR 053 aislada de ambientes patagónicos) y fertilizado (con nutrientes inorgánicos: PO₄HNa₂, CINH₄ y NO₃K, y mantuvieron una relación de C:P de 800:1 y C:N de 60:1) igual a 55 %, suelo inoculado y no fertilizado igual a 30 %, suelo sin inoculación y fertilización igual a 13 % y suelo fertilizado igual a 16 %, cabe indicar que el suelo contaminado fue previamente arado y humedecido, de manera periódica ⁽³⁾.

Sin embargo, existen experimentos realizados sin incorporación de inóculos microbianos que obtuvieron degradaciones del orden del 50 % en seis meses de tratamiento partiendo de concentraciones entre 9 y 18 %

(peso/peso) de TPH, señalándose que en la mayoría de los casos la población microbiana autóctona reacciona favorablemente a la estimulación de la aireación, fertilización y humectación, haciendo innecesario el agregado de cultivos microbianos ⁽⁴⁾.

Cabe resaltar la importancia de la aireación en los procesos de biodegradación de los suelos contaminados con hidrocarburos, debido a que las especies bacterianas son microorganismos aeróbicos estrictamente capaces de crecer en un medio que contiene lodos aceitosos (residuos de petróleo) como las únicas fuentes de carbono y energía; donde las bacterias *Pseudomonas* mostraron un predominio del género, dentro de ellas las *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas pickettii*, *Flavobacterium indologenes*, *Xanthomonas maltophilia* y *Ochrobactrum anthropi*; también se identificaron dos especies de levadura (*Candida tropicalis* y *Rhodotorula mucilaginosa*) ⁽⁵⁾.

A escala de laboratorio, está demostrado que la utilización de cepas bacterianas autóctonas aisladas del género *Bacillus* provenientes de un suelo contaminado con hidrocarburos pueden remover hasta un 66 % de hidrocarburo, donde las fracciones más pesadas de los hidrocarburos (asfáltenos) son transformadas en compuestos más livianos como resinas, aromáticos y compuestos saturados ⁽⁶⁾.

Respecto al grado de degradación de las fracciones de petróleo, existen investigaciones que trabajaron con suelos contaminados con residuos de hidrocarburos provenientes de los tanques de almacenamiento de petróleo, que demostraron que las fracciones más pesadas del petróleo se degradan en mayor tiempo ⁽⁷⁾.

Cabe indicar, que a la fecha no se ha encontrado estudios experimentales referentes a la Biodegradación de las borras de hidrocarburos provenientes de los tanques de almacenamiento de Crudo de la Refinería de Petróleo.

1.2 Justificación

Los residuos con hidrocarburos de las refinerías petroleras y petroquímicas son mezclas sumamente complejas y de difícil tratamiento. Si bien la tendencia mundial está orientada a eliminar o disminuir la generación de residuos, hay residuos cuya generación no se puede evitar sin afectar el desarrollo económico ⁽⁸⁾.

Se calcula que la industria del petróleo así como la química y petroquímica generan el 29,9 % de los residuos peligrosos totales, en particular la industria petrolera es la mayor generadora de residuos semisólidos ⁽⁹⁾.

Actualmente, en el Perú las borras de hidrocarburos (residuos del proceso de refinación del petróleo) se disponen finalmente en un relleno de seguridad generando altos costos económicos a la empresa y en pasivos ambientales futuros para la sociedad, en otros casos, se almacenan por largos periodos y se disponen finalmente en el suelo situación que conlleva a la degradación del ecosistema, contaminando el suelo, agua, aire, flora y fauna por la generación de lixiviados, descomposición y volatilización de TPH.

Asimismo, representa un riesgo significativo a la salud de los trabajadores y a la población ubicada alrededor de las instalaciones de las refinerías, siendo que este residuo sólido es considerado por la Normativa Nacional Peruana como un residuo sólido peligroso, deteriorando finalmente la imagen de la Empresa.

Hasta el año 1991, dentro de las alternativas estudiadas para el tratamiento de los residuos sólidos peligrosos generados en el proceso de refinación se encontraban la biotecnología, la extracción con solvente, la estabilización/solidificación, uso como combustible suplementario, la incineración, la coquificación y la desorción térmica, siendo la más costosa la tecnología de la incineración ⁽¹⁰⁾.

En el año 1998, los costos de tratamiento en tierra (landfarming), fijación química, confinación e incineración, fluctuaban entre US\$ 25 y US\$ 2 000 la tonelada métrica de residuo peligroso tratado ⁽¹¹⁾, siendo la técnica de incineración la más costosa y el tratamiento biológico del suelo el más económico.

Cabe indicar, que la técnica de tratamiento en tierra es aplicable solo a suelos contaminados con bajo contenido de TPH y poco volumen, a diferencia de la biorremediación que es aplicable a grandes volúmenes de suelo contaminado con alto contenido de TPH, con costos que fluctúan entre 25 y 35 US\$/m³ de residuo tratado, y periodos de tratamiento mayores a 90 días ⁽¹²⁾ y de extensa labor.

Desde el año 2005, los costos de las técnicas biológicas (bioventilación, biopila, tratamiento biológico del suelo y planta de tratamiento biológico) son más rentables económicamente que las técnicas fisicoquímicas (lavado de suelo, calentamiento por resistividad eléctrica, desorción térmica elevada e incineración) ⁽¹³⁾, tal como se observa a continuación:

Tabla 1. Costos Económicos en la remediación de suelos contaminados

Tratamiento	Costo (\$/Tm)	Referencias
Bioventilación	10 – 140	EPA 2004; Fan y Tafuri, 1994
Biopila	30 – 110	EPA 2004; Fan y Tafuri, 1994.
Tratamiento biológico de suelo	5 – 30	EPA 2004; Fan y Tafuri, 1994.
Planta de tratamiento biológico	30 – 60	Klein, 2000.
Lavado del Suelo	75 – 600	Dennis et al, 1994.
Calentamiento por	30 – 400	Ciencia y Tecnología

Tratamiento	Costo (\$/Tm)	Referencias
resistividad eléctrica		Ambientales, 2000.
Desorción térmica elevada	350 – 450	EPA 2004, Environmental Ciencia y Tecnología Ambientales, 2000.
Incineración	500 - 1 000	Ciencia y Tecnología Ambientales, 2000.
Excavar + vertedero	35	Ciencia y Tecnología Ambientales, 2000.

Fuente: Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica, España 2005. p. 151.

Asimismo, la Biorremediación es considerada como la técnica más deseable desde el punto de vista ecológico, en contraste a alternativas más costosas y de menor aceptación pública ⁽⁴⁾.

Es ese sentido, surge la necesidad de realizar investigaciones de técnicas de tratamiento para las borras de hidrocarburos que sean sostenibles en el tiempo y contribuyan a la conservación del medioambiente y la prevención de la salud de las personas.

1.3 Planeamiento del problema científico

¿Cuál es la influencia de la aireación en el Tratamiento Biológico de borras de hidrocarburos menores a 25 000 mg.Kg⁻¹ de TPH?

1.4 Hipótesis

La aireación en el Tratamiento Biológico de las borras de hidrocarburos disminuirá el contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo - TPH a ≤ 5 000 mg.Kg⁻¹.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Químicamente, el crudo de petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos con estructura molecular compleja dada la capacidad del átomo de Carbono de formar cuatro enlaces con otros átomos de Carbono, pudiendo formarse estructuras moleculares en forma de cadenas o ciclos ⁽¹⁴⁾. Además, se encuentra conformado por elementos minoritarios como el Azufre, Oxígeno, Nitrógeno y trazas de metales ⁽¹⁴⁾ como el Níquel y el Vanadio ⁽¹³⁾.

Las cadenas se conocen como compuestos alifáticos, y consisten en sucesiones de átomos de Carbono unidos entre sí por enlaces sencillos (alcanos), dobles (alquenos) o triples (alquinos) mientras que el resto de las valencias son ocupadas por Hidrógenos ⁽¹⁴⁾, los alcanos son conocidos como Olefinas.

Los ciclos pueden ser saturados, donde varios carbonos se unen entre sí por medio de enlaces sencillos; los ciclos saturados se conocen como ciclo alcanos, ciclo parafinas o naftenos y son componentes minoritarios del crudo de petróleo.

También pueden ser aromáticos, donde algunos carbonos del ciclo están unidos por enlaces dobles; los compuestos aromáticos son derivados del Benceno, un anillo de seis carbonos unidos por tres enlaces sencillos y tres enlaces dobles alternados, los anillos pueden encontrarse fusionados entre ellos o sustituidos con cadenas alifáticas. Los hidrocarburos policíclicos aromáticos

(HAPs) o polinúcleo aromáticos comprenden del 10 al 25 % del petróleo crudo y son las fracciones más pesadas ⁽¹⁴⁾. Cabe indicar, que la Agencia de Protección Ambiental Americana ha incluido los HAPs entre sus contaminantes prioritarios debido a su toxicidad en el agua y por ser de tipo teratogénico, mutagénico y carcinogénico ⁽¹³⁾.

Asimismo, se encuentra la fracción de resinas compuesto por agregados de piridinas, quinolinas, carbazoles, tiofenos, sulfóxidos y amidas; y la fracción de asfaltenos compuesto por agregados de HAPs, ácidos nafténicos, sulfuros, ácidos grasos, metaloporfirinas y fenoles polihidratados ⁽¹³⁾; estas fracciones son los componentes de mayor recalcitrancia del crudo de petróleo.

Desde el punto de vista microbiológico, las *Eubacterias*, *Arqueobacterias* y *Eucariontes* son los participantes potenciales en la fase biológica de la formación del petróleo, según el estudio realizado a un yacimiento de Kerógeno en Australia ⁽¹⁴⁾.

Finalmente, la susceptibilidad de la biodegradación de los productos derivados del petróleo varía con el tipo de componentes y estructura, siendo que:

- Los alcanos de cadena ramificada, alquenos y ciclo alcanos son atacados por un número limitado de organismos.
- Los HAPs son los de mayor toxicidad y al mismo tiempo los más recalcitrantes a los métodos convencionales de remediación.
- Los compuestos aromáticos son parcialmente oxidados por muchos, pero pocos son asimilados por los organismos.
- La degradación de los hidrocarburos insaturados requiere de una mayor aportación de energía que los hidrocarburos simples.
- Los ciclos alcanos son muy tóxicos y la degradación inicial es por lo general acompañada por el metabolismo.

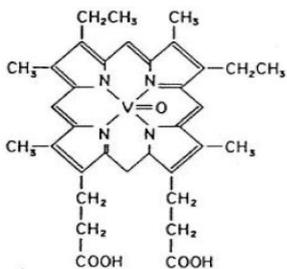
- Las clases más resistentes son las sustancias aromáticas, alicíclicas y alifáticas de cadenas muy largas.

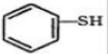
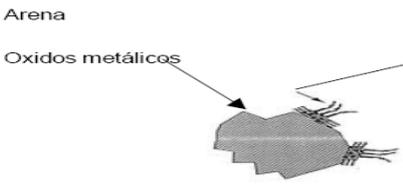
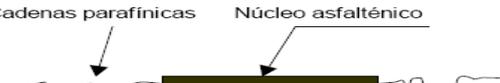
Cabe indicar, que la industria petrolera es una de las responsables de la generación de grandes cantidades de residuos aceitosos y viscosos durante los procesos de extracción, transporte y refinación del crudo de petróleo, siendo los predominantes las borras de hidrocarburos.

2.1. Definición de las borras de hidrocarburos

Las borras de hidrocarburos son residuos sólidos peligrosos, se componen básicamente de aceite, agua y sólidos, las características fisicoquímicas, así como su variada composición de las borras de hidrocarburos hacen muy difícil su reutilización y ello le confiere una alta resistencia a la descomposición. Esta resistencia a la descomposición se puede atribuir a la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos y complejos de compuestos aromáticos con un alto peso molecular ⁽⁵⁾.

Molecularmente, la borras de hidrocarburos están compuestas por hidrocarburos parafínicos (normal, iso y ramificado), hidrocarburos asfálténicos, compuestos sulfurosos (Ácido Sulfídrico, mercaptanos y aromáticos), gases disueltos (Oxígeno, Nitrógeno y Dióxido de Carbono) y sedimentos (arena, óxidos metálicos, cadenas parafínicas, núcleo asfálténicos y coloides asfálténicos) ⁽¹⁵⁾.

Hidrocarburos Parafínicos		Hidrocarburos Asfálténicos
Normal (n)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-R}$	
Iso (i)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-R} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
Ramificado	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH-R} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	

Compuesto Sulfurosos		Gases Disueltos	
Acido sulfhídrico	H ₂ S	Oxígeno	O ₂
Mercaptanos	R-SH	Nitrógeno	N ₂
Aromáticos		Dióxido de carbono	CO ₂
Sedimentos			
Arena		Cadenas parafínicas	Núcleo asfalténico
			
			

Fuente: Tratamiento de Emulsiones Inversa y Remediación de Suelos de los Yacimientos de Maquia y Agua Calientes, elaborado por Ramírez Edgard (Tratamiento de Emulsión Inversa) y Palacios Rubén (Remediación de Suelos) 1999. INGEPET '99 EXPL-8-RP-09. The Maple Gas Corporation del Perú, Sucursal Peruana-Perú. pp: 5 y 6/15.

Figura 1. Estructura molecular de la borra de hidrocarburo

Algunos de estos compuestos actúan como disolvente de membranas microbianas, con marcada estabilidad debido a la adsorción del petróleo en las partículas sólidas produciendo una capa muy protectora que tienden a depositarse en la parte inferior de los tanques de almacenamiento del crudo de petróleo ⁽⁵⁾.

2.2. Generación de las borras de hidrocarburos

Las borras de hidrocarburos se generan principalmente en la etapa de almacenamiento del crudo de petróleo antes de ingresar al proceso de refinación, el cual es almacenado por un periodo aproximado de tres días a fin de sedimentar todas sus impurezas. Cabe indicar, que durante el proceso de refinación se eliminan componentes de la fracción asfalténica (altamente resistentes a la descomposición) ⁽¹³⁾.

Las borras de hidrocarburos también se encuentran en los tanques de almacenamiento de residuales, equipos de centrifugación para la determinación de agua y sedimentos del crudo de petróleo, medios filtrantes, unidades de separación de petróleo y agua (poza API y tanque Slop).

En la poza API se separan los hidrocarburos del agua por densidad, los hidrocarburos se recuperan en los tanques de desechos de hidrocarburos (Tanque Slop) y el agua se bombea a la poza de percolación para luego descargarla a la Playa ⁽²⁰⁾.

La muestra de borras de hidrocarburos empleada en el presente trabajo de investigación proviene de los tanques de almacenamiento de crudo de petróleo de la Refinería de Talara – PETROPERU S.A., siendo este un crudo pesado proveniente de las plataformas ubicadas en el mar y la costa norte peruana.

En la investigación “Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería” realizado ⁽¹⁰⁾ el año 2003, se indicó que anualmente se generan 4 500 barriles de estos residuos equivalentes a 721 m³; en ese sentido, si se considera la actividad de refinación con una proyección de 20 a 50 años, se estaría generando un total de 14 420 m³ y 36 050 m³ de residuos, respectivamente ⁽¹⁰⁾.

2.3. Biodegradabilidad de los compuestos recalcitrantes

Siendo que los denominados compuestos recalcitrantes conforman la estructura molecular de las borras de hidrocarburos (hidrocarburos parafínicos y asfálticos, compuestos sulfuros, gases disueltos y sedimentos), existen estudios realizados en Brasil que señalan que las bacterias, levaduras y hongos filamentosos actúan como agentes transformadores debido a su capacidad de degradar una amplia variedad de sustancias xenobióticas encontradas comúnmente en residuos de la

industria petrolera; asimismo, son capaces de usar estas sustancias como la única fuente de carbono y energía ⁽⁵⁾.

En particular, el estudio de comunidades microbianas que actúan en la biodegradación en el lugar que se encuentran los hidrocarburos, ha sido un reto para los microbiólogos, la razón de esto es que la mayor parte de las especies (90 a 99 %) que componen las comunidades degradadoras no son cultivables ⁽¹⁴⁾.

Las comunidades microbianas en ecosistemas contaminados tienden a ser dominadas por aquellos organismos capaces de utilizar y/o de sobrevivir a los compuestos tóxicos, como resultado estas comunidades son menos diversas que aquellos sistemas de referencia no contaminados. Cabe indicar, que la diversidad también puede estar influenciada por la complejidad de la mezcla de compuestos presentes y por el tiempo en que las poblaciones han estado expuestas. Sin embargo, cuando las bacterias Gram-negativas dominan el sistema (como es frecuente en el caso de ambientes contaminados con hidrocarburos) el conocimiento derivado de los biomarcadores lipídicos se limita al estado nutricional o fisiológico de la comunidad bacteriana más que a su diversidad ⁽¹⁴⁾.

Asimismo, existe una gran variedad de microorganismos identificados en la degradación de compuestos derivados del petróleo siendo de mayor cantidad las *eubacterias*, aunque en algunos casos se encontraron *arqueobacterias* y *eucariotes* ⁽¹⁴⁾.

Aunque no han sido caracterizados en su totalidad, muchos de estos microorganismos poseen actividades de peroxidasas y oxigenasas que permiten la oxidación más o menos específica de algunas fracciones del petróleo, esta oxidación cambia las propiedades de los compuestos haciéndolos susceptibles de ataques secundarios y facilitando su conversión a bióxido de carbono y agua, en algunas ocasiones no es necesario llegar a la mineralización sino que basta una oxidación para

disminuir notablemente su toxicidad o aumentar su solubilidad en agua, incrementando su biodisponibilidad ⁽¹⁴⁾.

Cabe indicar, que los microorganismos pasan por dos etapas, la primera de aclimatación o fase de latencia durante el cual los microorganismos nativos o indígenas adquieren la capacidad de degradar compuestos nuevos. Y la segunda, es de adaptación mediante el cual los microorganismos modifican sus características a fin de facilitar y aumentar la capacidad de sobrevivir y reproducirse en un entorno particular ⁽¹⁶⁾.

2.4. Biorremediación

La biorremediación está basada en la transformación del compuesto orgánico o hidrocarburo por acción de diversos microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) en compuestos inocuos o de menor toxicidad como H_2O , CO_2 y biomasa (Figura 2) ⁽¹⁷⁾.



Fuente: IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente, Volumen II, compilado por Carrillo Castellanos J. Roger, 1998, Equinoccio Ediciones de la Universidad Simón Bolívar. Venezuela, p: 325/331.

Figura 2. Principios básicos de biorremediación

Adicionalmente los desechos metabólicos resultantes de la transformación de las cadenas de hidrocarburos en dichos componentes celulares son el O_2 y H_2 ⁽¹⁵⁾.

Existen microorganismos con capacidad de degradar los hidrocarburos que se encuentran naturalmente en el suelo y poseen la

capacidad metabólica necesaria para utilizar estos compuestos como fuente de energía para su crecimiento; mediante las reacciones de transformación y oxidación que se desarrollan durante la multiplicación celular la cual requiere como sustrato alimenticio materia orgánica con un alto contenido de carbono ⁽¹⁵⁾.

La totalidad de reacciones químicas que una célula es capaz de realizar constituyen el metabolismo, dicha función consiste en extraer energía del ambiente a partir de nutrientes orgánicos o de la luz, como efecto del metabolismo los nutrientes exógenos que en el caso de la biorremediación de suelos son compuestos hidrocarbonados, se convierten en compuestos intermedios o precursores de componentes macromoleculares de la estructura celular, que luego se transforman en proteínas celulares, enzimas, ácidos nucleicos, polisacáridos, lípidos y demás componentes celulares ⁽¹⁵⁾.

Cabe indicar, que las bacterias que crecen en presencia de hidrocarburos producen polisacáridos y glicolípidos los cuales actúan como solventes de los hidrocarburos. Las enzimas responsables de la degradación de hidrocarburos son conocidas con el nombre de oxigenasas debido a que introducen uno o más átomos de oxígeno en el componente a degradar ⁽⁶⁾, siendo las enzimas a nivel microbiológico las catalizadoras de mayor eficiencia conocida hasta el momento ⁽¹⁵⁾.

Cabe indicar, que los suelos tropicales al tener una alta diversidad y riqueza de especies de microorganismos permiten mantener altas tasas de biodegradación de los hidrocarburos, en comparación con las reportadas a otras latitudes ⁽¹⁷⁾. Asimismo, no requiere la adición de microorganismos exógenos o foráneos, lo cual además de disminuir los costos de tratamiento elimina los riesgos ambientales.

El sistema suelo es variable y está demostrado que las propiedades químicas que juegan un importante papel en los procesos de adsorción de contaminantes son el pH, la textura y la materia orgánica ⁽⁴⁾. Asimismo,

este sistema es capaz de reaccionar frente al componente agresor activando mecanismos tales como el incremento de especies microbianas capaces de transformar moléculas complejas en sustancias inocuas, para ello actúan mecanismos de autoselección de especies ⁽⁴⁾.

Los requerimientos básicos para que exista biodegradación en el suelo son la presencia de microorganismos degradadores, adecuadas condiciones nutritivas (Carbono, Nitrógeno y Fósforo) y ambientales (temperatura y humedad) y ausencia de sustancias inhibitoras del crecimiento microbiano. Además, es prioritario que las sustancias contaminantes estén disponibles al ataque microbiano, aspecto que es crítico ya que la mayor parte de los procesos biológicos en suelo son limitados por fenómenos de transporte de sustancias más que por limitantes biológicos, la razón de este fenómeno se atribuye principalmente a los equilibrios de adsorción-desorción y la distribución no homogénea del contaminante en la materia sólida ⁽⁴⁾.

En ese sentido, cuando el proceso degradativo no acontece espontáneamente se debe a que algunos factores están incidiendo negativamente como: contaminantes no biodegradable, carencia o deficiencia de microorganismos apropiados, inadecuadas condiciones nutritivo-ambientales o presencia de sustancias inhibitoras del desarrollo microbiano y una alta concentración de contaminante ⁽⁴⁾.

Del mismo modo, las condiciones nutritivas (Carbono, Nitrógeno y Fósforo) en el medio a ser remediado tienen un efecto directo sobre los microorganismos nativos degradadores, la deficiencia de estos impide la actividad microbiana y un balance inapropiado reducirá el metabolismo degradador. La concentración de nitratos es uno de los parámetros principales en el proceso de biorremediación, cabe indicar que el Nitrógeno se encuentra en diferentes formas químicas siendo el nitrato la forma química asimilada por las bacterias ⁽¹²⁾.

El rango normal de Carbono:Nitrógeno:Fósforo depende del sistema de tratamiento a emplear, siendo de modo habitual la proporción de 100:10:1 ⁽¹⁸⁾.

Asimismo, las dos condiciones ambientales más comunes que pueden afectar la actividad enzimática y por tanto la actividad microbiológica son el pH y la temperatura ⁽¹⁵⁾.

El pH del suelo afecta significativamente la actividad microbiana, la solubilización y adsorción/absorción de los contaminantes y de los iones, siendo el pH óptimo para los procesos de biodegradación el neutro (7,4 – 7,8) ⁽¹³⁾.

Del mismo modo, la temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que afecta la actividad metabólica de los microorganismos y la tasa de biodegradación, la mayor parte de estudios realizados indican que las condiciones mesofílicas (20 – 30 °C) son las óptimas para la biorremediación de suelos contaminados ⁽¹³⁾.

Las herramientas con que se cuenta para inducir un proceso degradativo espontáneo en suelo son varias pero principalmente se pueden mencionar las siguientes: aireación por medio del laboreo u otro sistema, humectación controlada y la incorporación de fertilizantes para provisión de Nitrógeno y Fósforo. Si la concentración de hidrocarburos es elevado será necesario reducirla por dilución con suelo limpio y si la concentración de microorganismos no es suficiente será necesario incorporarlos ⁽⁴⁾.

Cabe indicar que la biodegradación empleada como técnica de biorremediación es netamente aeróbica ⁽¹⁷⁾, la mayor parte de hidrocarburos presentes en los productos petrolíferos son degradados con mayor extensión y rapidez de forma aeróbica (O₂ como aceptor final de electrones) ⁽¹⁹⁾. La velocidad de degradación de los compuestos presentes en el petróleo son de la siguiente manera: hidrocarburos saturados mayor

que los aromáticos ligeros y estos mayor que los aromáticos de alto peso molecular y estos mayor que los asfáltenos y resinas ⁽¹⁹⁾.

Asimismo, las parafinas de cadenas cortas son sustratos fácilmente degradables por los microorganismos, seguidos en orden descendiente por las parafinas de cadena larga, isoparafinas, cicloparafinas, aromáticos, heterocíclicos, resinas y asfáltenos. Además, los compuestos polares y los asfáltenos son generalmente considerados resistentes a la biodegradación y el material remanente se denomina Hidrocarburos Totales de Petróleo, el cual es considerado biodegradable ⁽⁴⁾.

El contenido de humedad es otro factor crítico, este varía dependiendo del tipo de suelo y de la capacidad intrínseca de retención de la humedad. La naturaleza del crudo o tipo de compuesto orgánico influye en la velocidad del proceso, así como por ejemplo compuestos saturados de cadenas lineales son más fáciles de biodegradar que compuestos aromáticos de alta complejidad química ⁽¹⁷⁾. El rango de humedad óptimo es de 30 – 90 % de la capacidad de campo para la biodegradación aeróbica de lodos contaminados con crudo de petróleo ⁽¹³⁾.

Del mismo modo, la salinidad es un parámetro de interés para saber si hay un exceso que resultaría perjudicial a cualquier proceso biológico de remediación ⁽¹³⁾.

En resumen, la efectividad de esta metodología depende de factores como: el tipo y la concentración del contaminante, la concentración de microorganismos, la concentración de nutrientes, la aireación, el pH, la salinidad, la temperatura ambiental, la presencia de inhibidores, la disponibilidad del contaminante y las características del suelo receptor.

En consecuencia, la presente investigación estuvo diseñada para determinar la influencia de la aireación en el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos procedentes de la Refinería de Talara – PETROPERU S.A mezcladas con tierra agrícola de la zona agrícola de

Chorrillos – Lima y arena fina de playa no salinizada procedente de Lurín, siendo la variable independiente el flujo de aireación (30 y 60 rpm), la concentración inicial de TPH en la Mezcla y los días de aireación; las variables intervinientes temperatura, humedad y pH de la mezcla; temperatura, humedad, pH, TPH, agua y sedimentos de las borras de hidrocarburos; materia orgánica, fósforo, sólidos solubles totales y pH de la tierra agrícola; humedad y velocidad relativa media ambiental; y temperatura ambiental; este experimento se realizó en el Distrito de San Juan de Miraflores, provincia y departamento de Lima, y duro 75 días (03.Mar – 16.May.2011).

CAPÍTULO III. OBJETIVOS

CAPITULO III. OBJETIVOS

Objetivo General

Disminuir las concentraciones de TPH a $\leq 5\ 000\ \text{mg.Kg}^{-1}$ en las borras de hidrocarburos aplicando aireación como Tratamiento Biológico.

Objetivos Específicos

1. Determinar la concentración inicial de Hidrocarburos Totales de Petróleo – TPH en las borras de hidrocarburos.
2. Determinar la concentración inicial de Hidrocarburos Totales de Petróleo – TPH en las borras de hidrocarburos mezcladas con tierra agrícola y arena fina no salinizada en una proporción de 1:5:1.25 sin aireación.
3. Determinar la concentración final de Hidrocarburos Totales de Petróleo – TPH en las borras de hidrocarburos mezcladas con tierra agrícola y arena fina no salinizada en una proporción de 1:5:1.25, y con una aireación de 30 rpm.
4. Determinar la concentración final de Hidrocarburos Totales de Petróleo – TPH en las borras de hidrocarburos mezcladas con tierra agrícola y arena fina no salinizada en una proporción de 1:5:1.25, y con una aireación de 60 rpm.

CAPÍTULO IV. GLOSARIO DE TÉRMINOS

CAPÍTULO IV. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biodegradación. Proceso de transformación y/o mineralización de un compuesto orgánico por acción biológica.

Biorremediación. Uso de agentes biológicos (bacterias) para restaurar suelos, en este caso específico se transforman los hidrocarburos contaminantes en productos no nocivos: bióxido de carbono, agua, biomasa y materiales húmicos.

Biotecnología. Proceso de tratamiento que utiliza biosurfactantes y/o microorganismos biodegradadores para tratar hidrocarburos.

Coquificación. Es un proceso de craqueo térmico por carga que tiene como productos una fracción destilable y un residuo insoluble en solventes orgánicos, rico en carbono, denominado coque.

Combustible suplementario. Referido al uso de desechos de refinería como combustible en hornos y calderas industriales.

Crudo pesado. Crudo de petróleo en cuya composición predominan naftenos (cicloalcanos), alcanos de cadena larga e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Desorción térmica. Proceso de tratamiento que consiste en remover compuestos orgánicos y agua de los sólidos.

Estabilización/solidificación. Proceso de tratamiento que consiste en mezclar el residuo con un estabilizante/solidificante a fin de inmovilizar los constituyentes tóxicos.

Extracción con solvente. Proceso de tratamiento que utiliza un solvente volátil para despojar los componentes orgánicos del lodo de petróleo generado en una refinería.

Incineración. Método de tratamiento de residuos que consiste en la oxidación química para la combustión completa de los residuos en instalaciones apropiadas, a fin de reducir y controlar riesgos a la salud y ambiente.

Proceso de refinación. El crudo de petróleo someterlo a diferentes grados de temperatura, logrando su separación a través de la destilación fraccionada.

Recalcitrante: Se aplica a aquellos compuestos cuya persistencia en el medio ambiente es grande debido a su difícil biodegradación. Los compuestos xenobióticos son, generalmente, recalcitrantes. Las razones de su persistencia son:

- Químicas: sustituyentes extraños (Cl u otros halógenos), enlaces inusuales (carbonos cuaternarios), anillos aromáticos muy condensados o excesivos tamaños moleculares (plásticos);
- Físicas: insolubilidad;
- Celulares: carencia de permeasas específicas, toxicidad, etc.

Reducción del volumen. Referido a la reducción de volumen o deshidratación/remoción de materia orgánica es esencial para el tratamiento de lodos petrolizados.

Residuos industriales: Son aquellos residuos generados en las actividades de las diversas ramas industriales, tales como: manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares. Estos residuos se presentan como: lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papel, cartón, madera y fibras, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.

Residuos sólidos peligrosos. Aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Los residuos que presenten por lo menos una de las siguientes características: corrosividad, autocombustibilidad, explosividad, toxicidad, reactividad o patogenicidad.

Riesgo significativo. Alta probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias indeseables para la salud y el medioambiente.

Semisólido. Material o elemento que normalmente se asemeja a un lodo y que no posee suficiente líquido para fluir libremente.

Sustancia xenobiótica. Son aquellas que son extrañas a un sistema vivo.

Tanque Slop. Tanque de agua sucia.

Tratamiento. Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

Tratamiento biológico de suelo. Técnica de biorrecuperación que puede ser utilizada para descontaminación tanto “en el lugar de origen” como “fuera del lugar de origen”, consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo (levaduras, hongos o bacterias) mediante el agregado de fertilizantes, arado y riego superficial.

CAPITULO V. MATERIALES Y MÉTODOS

CAPITULO V. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente Tesis se desarrolló mediante el siguiente cronograma:

Tabla 2. Cronograma de ejecución de la tesis

Actividades	2011												2012								
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	AgO	Set	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	AgO	Set	Oct
Planificación																					
- Diseño del equipo a emplear para realizar la aireación																					
- Obtención de materiales																					
- Selección de los laboratorios donde se analizaran los resultados																					
Desarrollo																					
- Fabricación de equipos																					
- Desarrollo de la metodología																					
- Monitoreo																					
- Recolección de los resultados																					
Informe																					
- Interpretación de resultados.																					
- Elaboración y presentación del informe borrador.																					
- Elaboración del Informe Final																					

Fuente: Elaboración Propia.

5.1 Materiales, herramientas y equipos

Se emplearon los siguientes materiales, herramientas y equipos:

5.1.1. En campo:

- Plástico de PVC de 0.5mm de espesor.
- Agua potable.
- Equipo de aireación.
- 4,90 Kg de borras de hidrocarburos procedente de la Refinería Talara, 22,00 Kg de tierra agrícola procedente de Chorrillos - Lima y 6,75 Kg de arena fina de playa no salinizada procedente de Lurín.
- Balanza Colgante Comercial.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3. Balanza Colgante Comercial

- Nueve baldes de PVC de 18L.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. Baldes de PVC 18L

- Colador Multiusos de PVC N° 2.

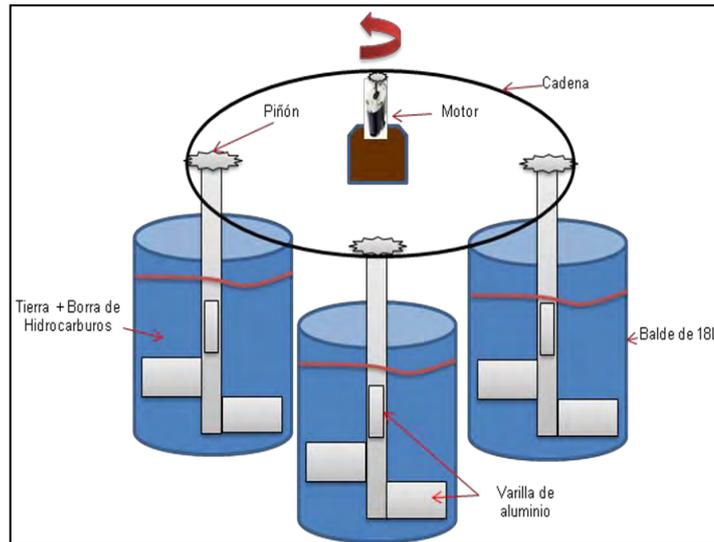


Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Colador Multiusos de PVC N°2

5.1.2. Equipo de aireación experimental

En el presente experimento se diseñó el equipo de aireación con dos niveles de aireación: 30 y 60 rpm.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Esquema del equipo de aireación

Para la fabricación se empleó los siguientes materiales y equipos:

- Dos motores:

Marca: Synchronous Motor. Type: US1940A-12. Volts: 115. N° rpm: 120 (regulada a 60). Out Put: 28w. Amperios: 0,95. Capacidad: 10 μ F.

Marca: Induction Motor. Type: IH8P15G-3. Vots: 100. N° rpm: 216/266 (regulada a 60). Out Put: 15w. Amperios: 0,4. Capacidad: 3 μ F.

- Autotransformador de marca: Audax RI 7404 - 350w. Entrada: 220 voltios. Salida: 110 voltios. Ciclos: 60.
- Un enchufe.
- Dos engranajes (piñones) de diez dientes, 12 engranajes (piñones) de 18 dientes, cuatro pernos, cuatro tornillos y cuatro cadenas.

- Una extensión de corriente.
- Un tubo de 1" de Ø.
- Una varilla de Fierro de 1 1/4" y 3/4" y una varilla de Fierro de 3/4".
- Un tubo de Platina de 5/8" x 1/4" y un tubo de Platina de 1/8" x 3/4".

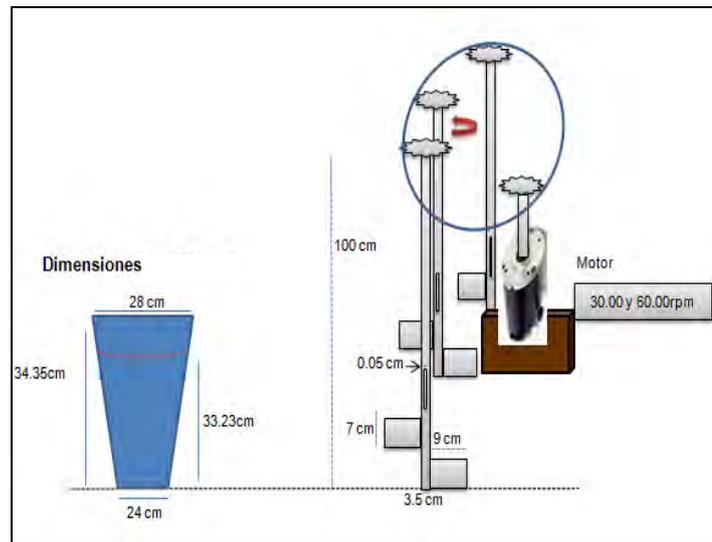
A continuación se visualiza el equipo de aireación diseñado:



Fuente: Elaboración Propia

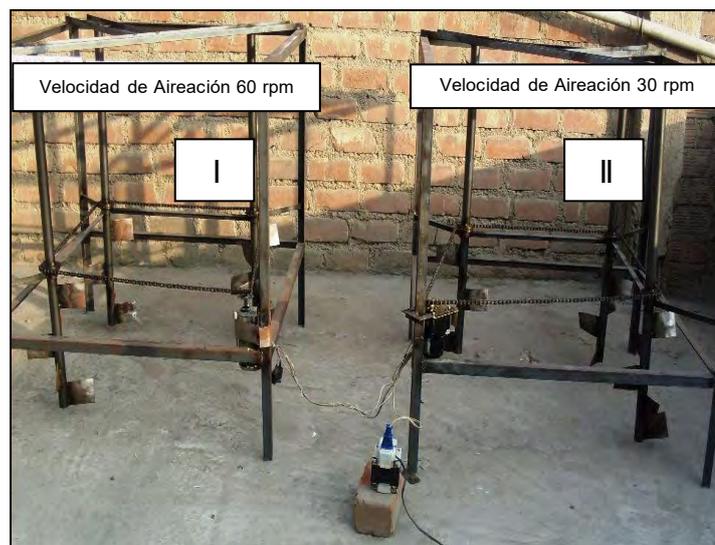
Figura 7. Equipo de aireación construido

Asimismo, se muestra el diseño de la paleta giratoria y las características del balde de PVC que contendrá las muestras.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Características del instrumento de aireación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. Sistema de aireación de 30 y 60 rpm a utilizar en la etapa experimental

Se empleó dos motores de velocidad igual a 60 rpm, en el primer motor se insertó un engranaje de 10 dientes y en el segundo de 18 dientes, reduciendo al segundo a una velocidad de 30 rpm. Por otro lado, las paletas giratorias contaron con un engranaje de 18 dientes, generándose en ese

sentido una velocidad de 60 y 30 rpm respectivamente, a continuación se esquematizan lo antes descrito:

Sistema con velocidad de aireación 30 rpm



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. Engranaje del Motor



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. Engranaje de la Paleta giratoria

Sistema con velocidad de aireación de 60 rpm



Fuente: Elaboración Propia

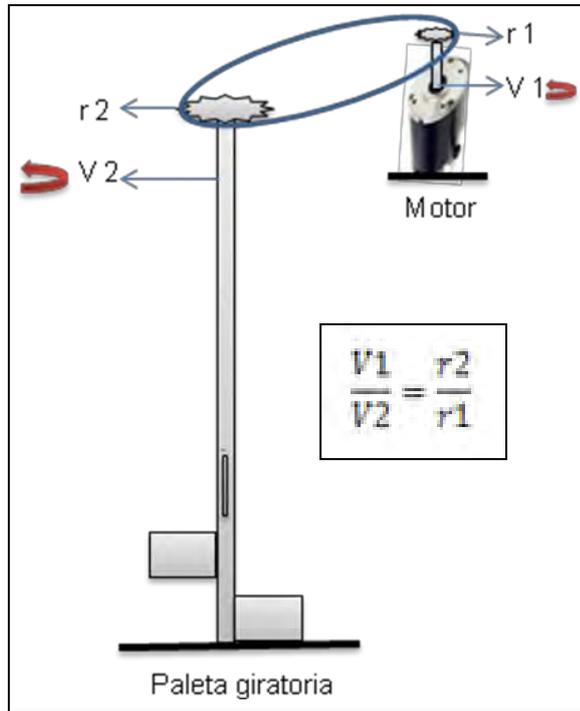
Figura 12. Engranaje del Motor



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Engranaje de la Paleta giratoria

La velocidad de la paleta giratoria se determinó con la siguiente fórmula:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14. Cálculo de la velocidad de la paleta giratoria

Obtendiéndose los siguientes resultados:

Tabla 3. Valores obtenidos en los cálculos de las velocidades

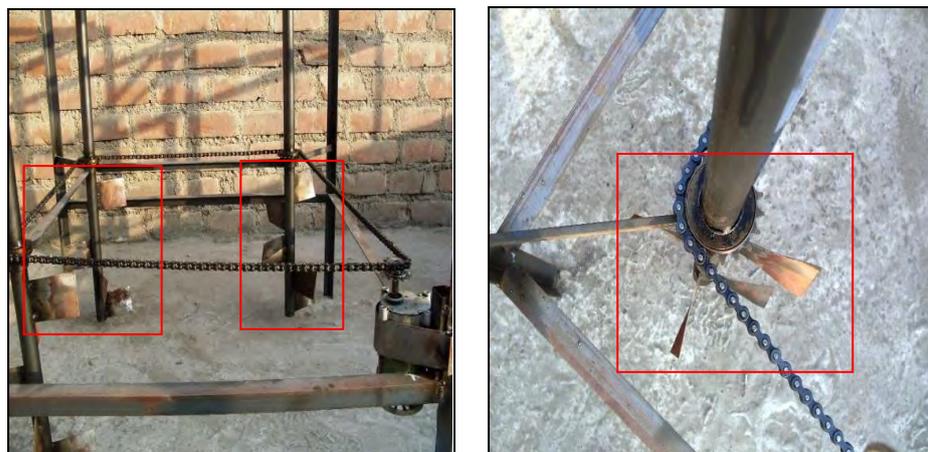
Sistema de aireación de 60		Sistema de aireación de 30	
V_1	60	V'_1	60
V_2	?	V'_2	?
r_1	18	r'_1	10
r_2	18	r'_2	18
$V_2 = 60$		$V'_2 = 33.3$ se le aproximó a 30	

Fuente: Elaboración Propia.

Las paletas tuvieron un grado de inclinación a fin de contribuir a la fuerza de rotación del motor (Ver Figura 15 y 16).

Donde:

- V_1 : Velocidad del motor.
- V_2 : Velocidad de la paleta giratoria.
- r_1 : Número de dientes del engranaje del motor = 10 dientes.
- r_2 : Número de dientes del engranaje de la paleta giratoria = 18 dientes.



Fuentes: Elaboración Propia

Figuras 15 y 16. Paletas giratorias

5.1.3 Equipos, herramientas y reactivos utilizados en Laboratorio

Equipos:

Tabla 4. Características de Equipos de Laboratorio utilizados

Nº	Equipo	Características
1	Balanza electrónica	Marca OHAUS. Modelo AR 2140. Precisión de 0.0001. Rango de 0-160gr.
2	Cocina de Laboratorio	Marca Robax Schott. Potencia 1 Kw.
3	Termómetro	Marca ASTM, rango de 0 - 150 °C.
4	Potenciómetro	Marca Schott, calibrado con estándares de soluciones (Instruments Postfach 2443-D55014 Maing) de pH 4.01, 7 y 10 con Technical Buffer.
5	Equipo de agitación	Marca LABTECH. Modelo ES. Marca Vaciotem-TV. Modelo 1 JP Selecta.
6	Estufa de Deseccación a Vacío	Rango 35 a 200 ° C. Estabilidad +/- 1 ° C. Homogeneidad +/- 2 %. Error de Consigna: +/- 1 %. Resolución: 1 ° C.
7	Equipo de Vacío	Marca FISTOM. Modelo 803.
8	Centrifuga	Marca Precisión Universal Centrifuge.
9	Espectrofotómetro	Marca Cecil. Modelo UV/Visible. Rango

UV/VIS 1000	Longitud de Onda 200-1000. Ancho de Banda 8nm. Luz Difusa 0.055. Absorción -0.3 a 3. Transmitancia de 0 a 200%
-------------	--

Fuente: CERTIPETRO.

Herramientas:

- Espátula.
- Papel filtro: Modelo Lento.
- Balón de 150 ml. Marca Pirex.
- Probeta de 80 ml. Marca Pirex. Modelo 3046.
- Vaso de Precipitado de 250 ml. Marca Pirex. Modelo 1000.
- Embudo de vidrio. Marca Pirex.
- Equipo Soxhet. Marca Pirex.
- Tamiz de Metal. Malla de 2 mm. De Ø.

Reactivos:

- 110 ml de Hexano. Marca JT Baker. Categoría QP.
- 0.01 Kg de Sulfato de Sodio. Categoría Industrial.
- 0.004 Kg de Sílica Gel. Categoría Industrial.
- 50 ml de Agua Destilada. Marca Sericom Import.

- 50 ml de Tolueno. Marca JT Baker. Categoría QP.

5.2 Desarrollo de la metodología

1. Se recolectó 5.00 Kg de borras de hidrocarburos del tanque de almacenamiento de crudo de la Refinería de Talara de la Empresa PETROPERU S.A.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 17 y 18. Borras de hidrocarburos de Refinería Talara

2. Haciendo uso de una espátula se homogeneizó las borras de hidrocarburos.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 19 y 20. Homogeneización de las borras de hidrocarburos

3. El 03.Mar.2011, se envió 0,70 Kg de borras de hidrocarburos al Laboratorio de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería a fin de analizar TPH, humedad, pH, temperatura, agua y sedimentos.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21. Pesado de 0,70 Kg de borras de hidrocarburos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22. Muestra de borras de hidrocarburos rotulada

4. Se pesó 22,00 Kg de tierra agrícola proveniente de Chorrillos – Lima y se tamizó en un colador multiusos de PVC Nº 2, siendo el tamaño máximo de las partículas tamizadas de 0,001m².



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 23 y 24. Tamización de la tierra agrícola

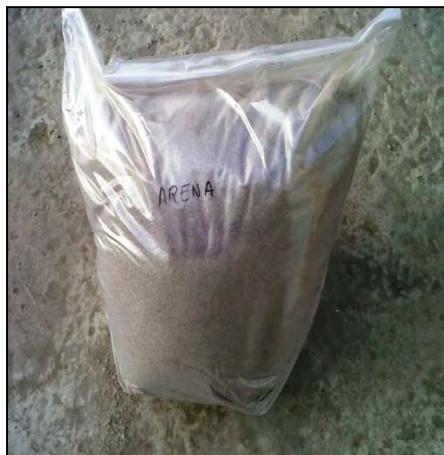
5. El 03.Mar.2011, se tamizó 1,00 Kg de tierra agrícola proveniente de Chorrillos – Lima y se envió al Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina a fin de analizar la materia orgánica, fósforo, sólidos solubles totales y pH.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 25 y 26. Pesado de 1,00 Kg de tierra agrícola tamizada

6. Se pesó 5,25 Kg de arena fina de Playa no salinizada proveniente de Lurín, a fin de facilitar la aireación y evitar la formación de cúmulos en la mezcla. Cabe indicar, que la arena fue previamente analizada y zarandeada en un Colador Multiusos de PVC Nº 2.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 27 y 28. Pesado de 5,25 Kg de arena tamizada

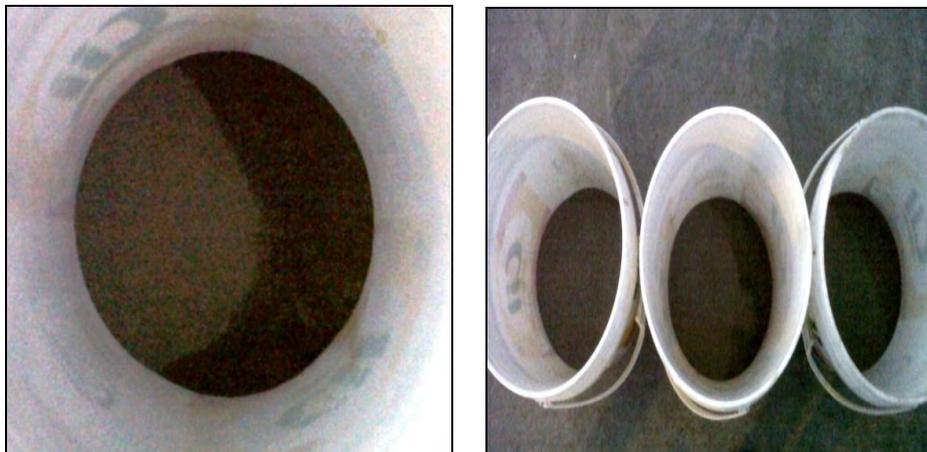
7. Se pesó 3,00 Kg de tierra agrícola para siete combinaciones.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 29 y 30. Pesado de 3,00 Kg de tierra agrícola tamizada

8. Se pesó 0,75 Kg de arena fina de playa para siete combinaciones.
9. Se mezcló 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa no salinizada, para siete combinaciones, generando siete mezclas.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 31 y 32. Mezcla de 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa no salinizada

10. Se pesó 0,60 Kg de borras de hidrocarburos para siete combinaciones.

11. Se combinó 0,60 Kg de borras de hidrocarburos con la mezcla de 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa para siete combinaciones, generando las mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 33 y 34. Mezcla Final: 0,60 Kg de borras de hidrocarburos, 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa no salinizada



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 35. Mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

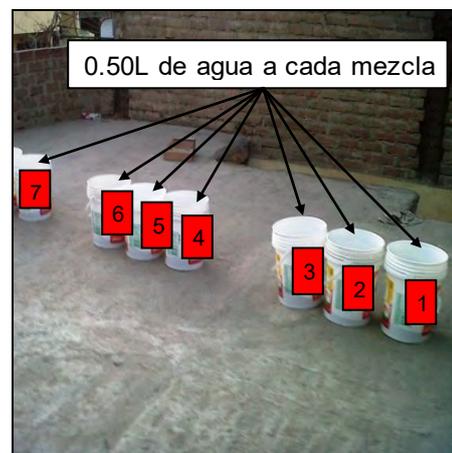
12. Se midió el TPH, pH, temperatura, humedad y sales solubles totales de las mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, extrayéndose de cada una 0,10 Kg para acumular una muestra de 0,70 Kg.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 36 y 37. Muestras de la mezcla (Borra de Hidrocarburo, tierra agrícola y arena fina no salinizada) y Borra de Hidrocarburo, para el análisis de parámetros químicos y biológicos

13. Antes de iniciar la aireación a cada mezcla se le añadió agua potable hasta obtener una humedad entre 20 y 30 % en peso, lo cual representa un volumen inicial de agua de 0,50 L., considerándose esta fecha del experimento como día cero.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 38 y 39. Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 con agua potable

Se le aplicó aireación mediante los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm (Ver Figuras 40 y 41).



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 40 y 41. Aireación a 30 y 60 rpm de las Mezclas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, manteniendo una humedad entre 20 a 30 %.

14. En la mezcla 1, 2 y 3, se aplicó aireación con un movimiento de 30 rpm por un tiempo de 30 min/día, durante 75 días, los volúmenes de agua fluctuaron entre 0,075 y 0,5 L. El equipo de aireación que se empleó se visualiza a continuación:



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 42 y 43. Equipo de aireación de 30 rpm

15. En la mezcla 4, 5 y 6, se aplicó aireación con un movimiento de 60 rpm por un tiempo de 30 min/día, durante 75 días, los volúmenes de agua fluctuaron entre 0,075 y 0,5 L. El equipo de aireación que se empleó se visualiza a continuación:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44. Equipo de aireación de 60 rpm

Se añadió agua potable hasta visualizar que las paletas del equipo giraran uniformemente. El volumen añadido se encuentra en los rangos descritos.

16. La mezcla 7 se consideró como muestra Blanco y no se le aplicó aireación.
17. Los días 12.Abr, 03 y 16.May.2011, se tomaron tres muestras de 0,23 Kg de la Mezcla 1, 2 y 3 correspondientes al Sistema de Aireación de 30 rpm a fin de analizar los parámetros de TPH, pH, humedad y temperatura. Del mismo modo, se tomaron tres muestras de 0,23 Kg de la Mezcla 4, 5 y 6 correspondiente al Sistema de Aireación de 60 rpm a fin de analizar los parámetros de TPH, pH, humedad y temperatura.

5.3 Variables

Sobre la base del problema de investigación y los objetivos, se han establecido las siguientes variables:

- Independiente: flujo de aireación, concentración inicial de TPH en la mezcla y días de aireación.
- Dependiente: Concentración final de TPH en la mezcla.
- Interviniente: Temperatura, humedad y pH de la mezcla; TPH, temperatura, humedad, pH, agua y sedimentos de la borra de hidrocarburo; materia orgánica, fósforo, sólidos solubles totales y pH de la tierra agrícola; humedad y velocidad relativa media ambiental; y temperatura ambiente.

5.4 Análisis de laboratorio

La determinación cuantitativa de hidrocarburos en suelo es compleja ya que la mayor parte de las técnicas se basan en la extracción de las diversas fracciones por solventes ⁽⁴⁾, en ese sentido se realizaron los siguientes análisis:

- TPH:

Para la determinación del TPH se empleó el método EPA 1664-2011 ⁽²¹⁾, realizado en el laboratorio de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Agua y Sedimentos:

Para la determinación de agua y sedimentos se empleó el método ASTM D95 y ASTM D473 ⁽²¹⁾, realizado en el laboratorio de

CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería, cabe indicar que este parámetro solo fue monitoreado en la muestra de borras de hidrocarburos.

- pH:

Para la determinación del pH se empleó el método APHA 4500-H⁺ ⁽²¹⁾, realizado en el laboratorio de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería, y en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Temperatura (C°):

Para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de vidrio con Mercurio del laboratorio de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Humedad

Para la determinación de la humedad se empleó el método Gravimétrico ⁽²¹⁾, realizado en el laboratorio de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Materia orgánica

Para la determinación de materia orgánica expresado en Carbono Total, Nitrógeno Total y Fósforo Disponible se empleó el método Gravimétrico - EPA 9060 ⁽²³⁾, realizado en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Fósforo:

Para la determinación de fósforo disponible se empleó el método Espectrofotométrico - SM 4500 P modificado, realizado en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Sólidos Solubles Totales:

Para la determinación de sólidos solubles totales del suelo se empleó el método Gravimétrico – NTP 339.152:2002 ⁽²²⁾, realizado en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Cabe indicar que el laboratorio CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería se encuentra acreditado por INDECOPI. Asimismo, los análisis de Laboratorio de la arena fina fueron brindados por la Empresa ARPL Tecnología Industrial S.A.

5.5 Presupuesto

La ejecución de la presente tesis representó una inversión de S/. 3 822 en las siguientes actividades.

- ❖ En equipos, herramientas y materiales se invirtió S/. 1 039.

Tabla 5. Presupuesto ejecutado en la tesis

Cantidad	Unidad	Actividades	Costo (\$/Unidad)
1	Unid.	Motor de Marca: Synchronous Motor, Type: US1940A-12.	90
1	Unid.	Motor de Marca: Induction Motor, Type: IH8P15G-3	90
1	Unid.	Autotransformador	40
13	Unid.	Engranaje de 18T	45
1	Unid.	Engranaje de 10T	20
9	Unid.	Baldes de PVC de 18 L.	54
4	Unid.	Cadena de 1m., tornillos y pernos	16
1	Unid.	Tubo redondo de 1 pulgada	40
1	Unid.	Fierro de 1 1/4" y 3/4"	25
1	Unid.	Fierro de 3/4"	20
1	Unid.	Tubo de Platina de 5/8" x 1/4"	25
1	Unid.	Tubo de Platina de 1/8" x 3/4"	12
4	m.	Plástico de PVC de 0.5mm de espesor	32
1	Unid.	Extensión de corriente y enchufe	10
100	ml.	Aceite Lubricador	15
...	...	Mano de obra en la fabricación del equipo de aireación.	400
1	Unid.	Balanza Colgante Comercial	10
1	Unid.	Colador Multiusos de PVC N° 2	10
...	...	Transporte de Borra de Hidrocarburo	30
250	gr.	Algodón estéril	10
4	Galón	Agua Potable	20
8	Kg	Arena fina de playa	20
		Total	1 039

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ En el análisis de muestras en los Laboratorios de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería, el Laboratorio de Análisis de

Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el Laboratorio de la Empresa ARPL Tecnología Industrial S.A, se invirtió S/. 2 783, los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 6. Parámetros analizados en borras de hidrocarburos

Parámetros	Método a analizar	Costo (S/.)	Frecuencia	Realizado por
TPH	Adopción EPA 1664	187		
pH	APHA 4500 – H +	12		
Tº	No normalizado	3	1 vez (al inicio del experimento)	CERTIPETRO -UNI
Humedad	Método Gravimétrico	36		
Agua y Sedimentos	ASTM D95 y ASTM D473	320		
	Total	558		...

Fuente: Solicitud para Servicios de Ensayos N° SS-047-11 de 03.Mar.2011.

Tabla 7. Parámetros analizados en tierra agrícola

Parámetros	Método a analizar	Costo (S/.)	Frecuencia	Realizado por
pH	Electrométrico	10,5		
Sólidos Solubles	EPA 9045			Laboratorio de Análisis de Agua,
Totales	Gravimétrico	21,0	1 vez (inicio del experimento)	Suelo y Medio Ambiente – UNAM
	NTP 339.152:2002			
Materia Orgánico	Gravimétrico	21,0		
(C _{Total})*	EPA 9060			

Parámetros	Método a analizar	Costo (S/.)	Frecuencia	Realizado por
P _{Disponible} .	Espectro fotométrico SM 4500 P mod.	28,5		
Total	...	81,00

*El dato será referencial, siendo que este es producto de la proporción de C total y P disponible encontrado.

Fuente: Folleto del Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Tabla 8. Parámetros analizados en arena fina de playa no salinizada

Parámetros	Método	Costo (S/.)	Frecuencia	Realizado por
Dióxido de silicio	ARPL PEX-01	20		
Óxido de aluminio	ARPL PEX-01	20		
Óxido férrico	ARPL PEX-01	20		
Óxido de calcio	ARPL PEX-01	20		
Óxido de magnesio	ARPL PEX-01	20		Informe de Laboratorio de apoyo de la Empresa ARPL Tecnología Industrial S.A.
Trióxido de azufre	ARPL PEX-01	20	1 vez (inicio del experimento)	
Óxido de sodio	ARPL PEX-01	20		
Óxido de potasio	ARPL PEX-01	20		
Dióxido de titanio	ARPL PEX-01	20		
Pentóxido de fósforo	ARPL PEX-01	20		
Óxido de manganeso	ARPL PEX-01	20		
Óxido de estroncio	ARPL PEX-01	20		
Total		240		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Parámetros analizados en la mezcla final (borra de hidrocarburo, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

Parámetros	Método a analizar	Costo (S/.)	Frecuencia	Realizado por
TPH	Adaptación EPA 1664	187		
pH	APHA 4500 – H +	12	Ocho Veces	CERTIPETRO -UNI
Temperatura	No normalizado	3		
Humedad	Método Gravimétrico	36		
	Total	238	1 904	...

Fuente: Solicitud para Servicios de Ensayos N° SS-047-11 de 03.Mar.2011.

Las Cotizaciones de los Laboratorios de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería y del Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la UNAM se adjuntan en el Anexo I.

5.6 Procedimientos realizados en el laboratorio

5.6.1 Medición de TPH

5.6.1.1 Se armó el equipo Soxhet y se empleó un balón de 150 ml con 100 ml de Hexano.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Equipo Soxhet

5.6.1.2 Se mezcló bien la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada), luego se tomó aproximadamente 0,01 Kg de la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla, y se envolvió con el papel filtro, cada una.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 46. Diez gramos de muestra envuelta en papel filtro

5.6.1.3 Las muestras de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada), envueltas en papel filtro se colocaron en los Equipos Soxhets y se llevaron a la cocina a una temperatura de 90 °C, dejando lavar la muestra de 10 a 12 ciclos/h durante 4 horas.

5.6.1.4 Se dejó enfriar los extractos (Hexano con hidrocarburos) generados de la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 47 y 48. Extracto de borras de hidrocarburos y de Mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

5.6.1.5 Se pesó 0,01 Kg de Sulfato de Sodio y se colocó en la estufa a 130 °C, por un periodo de 10 min, posteriormente se colocó en el vacío.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 49 y 50. Sulfato de Sodio en vaso de precipitado y equipo de vacío

5.6.1.6 Luego se procedió a colocar en el Sulfato de Sodio en el papel filtro y se ubicó en el embudo. Posteriormente, se pesaron los extractos de borras de hidrocarburos y de la mezcla, y se filtraron por medio del Sulfato de Sodio.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 51 y 52. Filtración de extracto de borras de hidrocarburos y de mezcla por medio de Sulfato de Sodio

5.6.1.7 La sustancias filtradas cayeron en los balones y se colocaron a baño maría, hasta que se evaporó el líquido (hexanos) y lo que quedó en los balones representan los aceites y grasas.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 53 y 54. Baño María de filtraciones de extracto de borras de hidrocarburos y de mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

5.6.1.8 Estos dos recipientes se colocaron al vacío y una vez secos fueron pesados en la balanza a fin de obtener aceites y grasas, y de acuerdo con esto se determinó la cantidad de Sílica Gel que debería de emplearse para la muestra. La cantidad de Sílica Gel añadido para la mezcla fue de 0,0044 Kg, y para la borra de hidrocarburo fue 0,006 Kg.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 55 y 56. Sílica Gel añadido al contenido de aceites y grasas generado de las borras de hidrocarburos y la mezcla

5.6.1.9 Posteriormente se añadió 10 ml. de Hexano y se agitó por 5 min.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 57, 58 y 59. Aceites y grasas, Sílica Gel y Hexano

5.6.1.10 Se procedió a filtrar las esencias y posteriormente se llevó a baño maría a fin de secar el líquido contenido en los balones.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 60 y 61. Baño María de las esencias de aceites y grasas, Sílica Gel y Hexano

5.6.1.11 Se colocó los balones al equipo de vacío, y luego fueron pesados; la diferencia de pesos fue la cantidad de TPH en la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

5.6.2 Medición de pH de borras de hidrocarburos y mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

5.6.2.1 Se tamizó aproximadamente 0,015 Kg de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada), se pesaron y cada una de ellas se colocó en un vaso de precipitado.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 62 y 63. Muestra de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

5.6.2.2. Luego se añadió 50 ml de agua destilada a cada una y se colocaron en el agitador por un periodo de 30 min.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 64 y 65. Muestra de Mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada) y agua destilada. Y el agitador

5.6.2.3. Se filtró en dos soluciones mediante papel de filtro hacia una probeta de 80 ml y se procedió a medir el pH de cada una de ellas.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 66 y 67. Filtración de la sustancia y potenciómetro

5.6.3 Medición de temperatura de las borras de hidrocarburos y la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada)

5.6.3.1 Se colocó aproximadamente 0,10 Kg de borras de hidrocarburos en un vaso de precipitado de 250 ml. Del mismo modo, se colocó 0,10 Kg de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada) en otro vaso, y luego se midió la temperatura mediante un termómetro de vidrio con Mercurio.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 68 y 69. Medición de la temperatura en la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla

5.6.4 Medición de agua y sedimentos de borras de hidrocarburos

5.6.4.1. Se utilizó 50 ml de Tolueno y se añadió a 0,049 Kg de borras de hidrocarburos.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 70. Muestra de borras de hidrocarburos

5.6.4.2. Posteriormente la mezcla se colocó en la centrífuga con un nivel de frecuencia de 3 min. x 60 rpm, luego se procedió a medir la cantidad de agua y sedimentos de la muestra de manera visual. Cabe indicar, que la función del Tolueno fue de arrastrar el agua y de la centrifuga fue la de separar el sedimento.



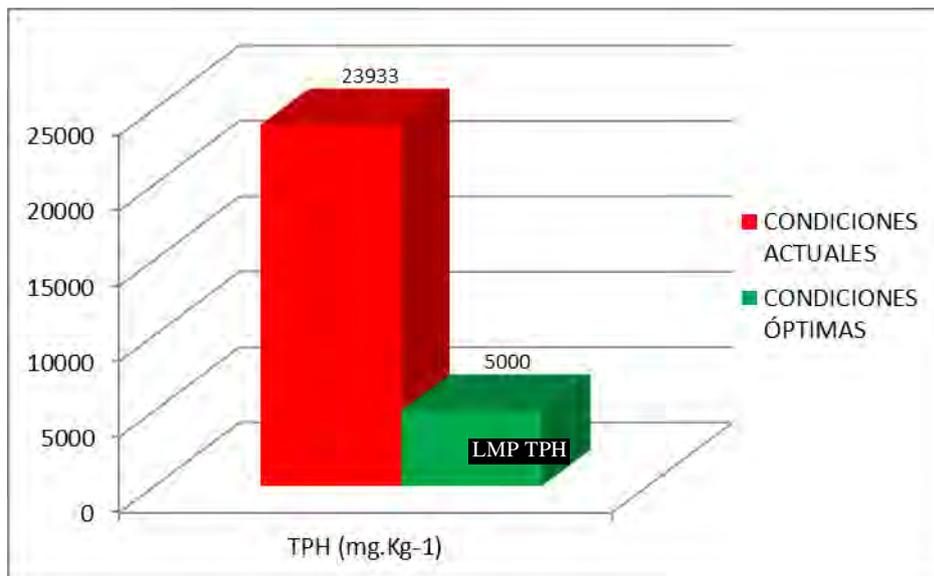
Fuente: Elaboración Propia

Figura 71. Medición visual de agua y sedimentos de las borras de hidrocarburos

CAPITULO VI.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 6.1.** Las borras de hidrocarburos fueron de coloración oscura, de naturaleza aceitosa y espesa.
- 6.2.** Los niveles de TPH en las borras de hidrocarburos superó el LMP de \leq a 5 000 mg.Kg⁻¹ (LMP para suelos superficiales contaminados con hidrocarburos, propuesto por la DGAAE del MEM), en consecuencia es considerado como residuo peligroso (Figura 72).

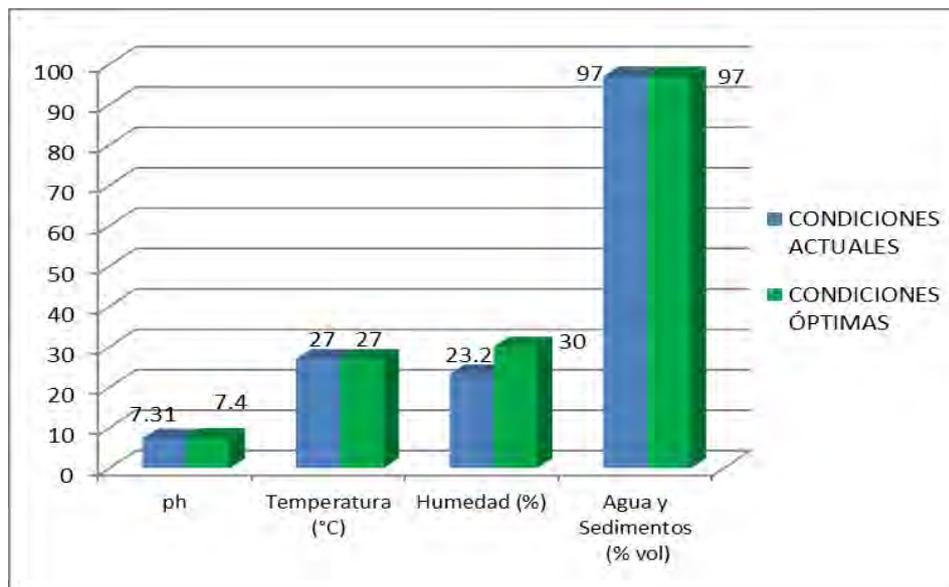


Fuente: Informe de Ensayo Nº IE 111911 de 17.Mar.2011 de la borra de hidrocarburos.

Figura 72. Cantidad de TPH en la borra de hidrocarburos

El Informe de Ensayo N° IE 111911 de 17.Mar.2011 de las borras de hidrocarburos se adjunta en el Anexo II.

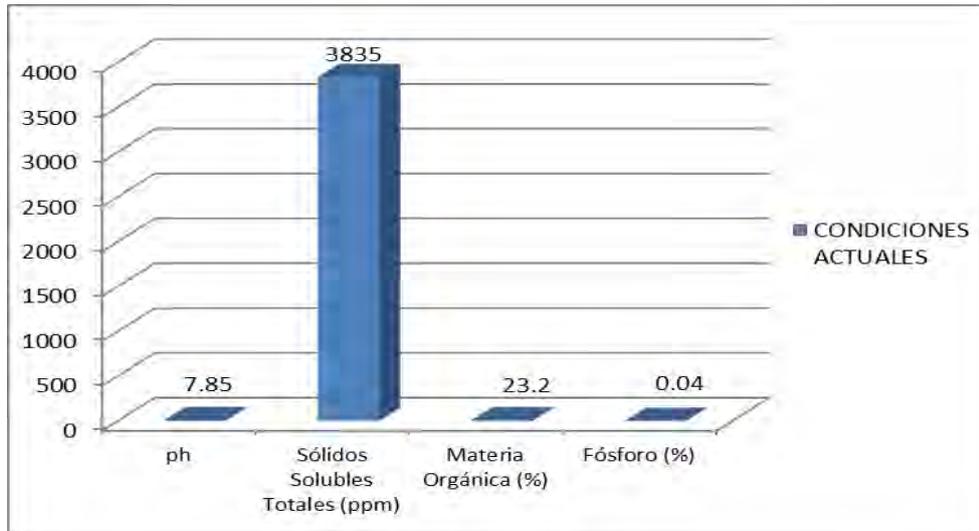
- 6.3.** Los resultados obtenidos en pH (7.31), temperatura (27°C), humedad (23.19 %) y agua y sedimentos (97 % vol.) en las borras de hidrocarburos, se encuentran dentro de las condiciones óptimas para aplicar la aireación como tratamiento biológico (Figura 73).



Fuente: Informe de Ensayo N° IE 111911 de 17.Mar.2011 de la Borra de Hidrocarburos.

Figura 73. Resultados de pH, temperatura, humedad, agua y sedimentos en la borra de hidrocarburos

- 6.4.** La tierra agrícola procedente de Chorrillos – Lima empleada en el experimento tuvo un pH (7.85) adecuado para aplicar la aireación como tratamiento biológico; asimismo, contuvo 4.91 % de materia orgánica y 0.04 % de Fósforo, nutrientes adecuados para aplicar la aireación como tratamiento biológico (Figura 74).

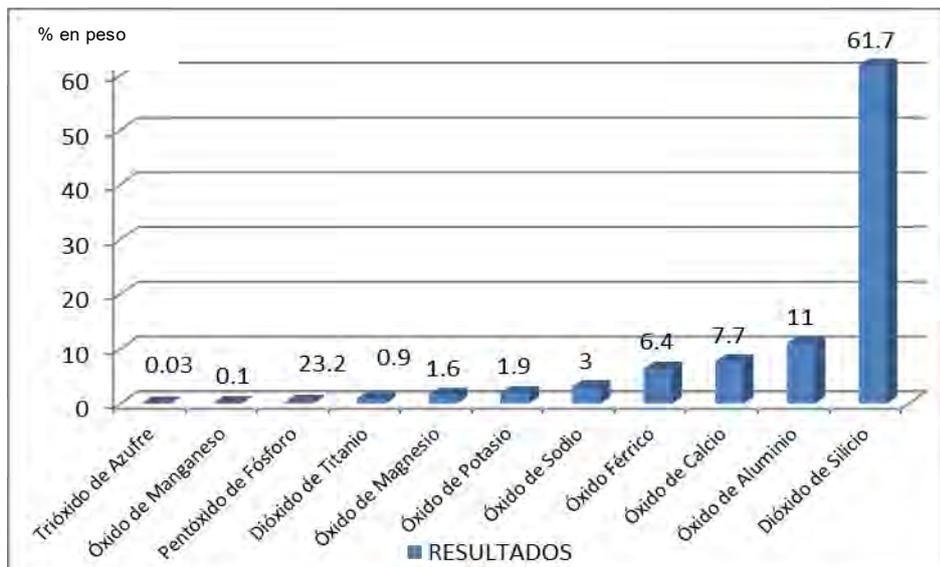


Fuente: Informe de Análisis de Suelo de Código de muestra LINGA/02201101 de 18.Feb.2011.

Figura 74. Características de la tierra agrícola de Chorrillos – Lima.

El Informe de Análisis de Suelo de Código de muestra LINGA/02201101 de 18.Feb.2011 se adjunta en el Anexo III.

- 6.5.** La arena fina de playa no salinizada mediante su porosidad contribuyó a mejorar la aireación de la mezcla, esta tuvo las siguientes características:

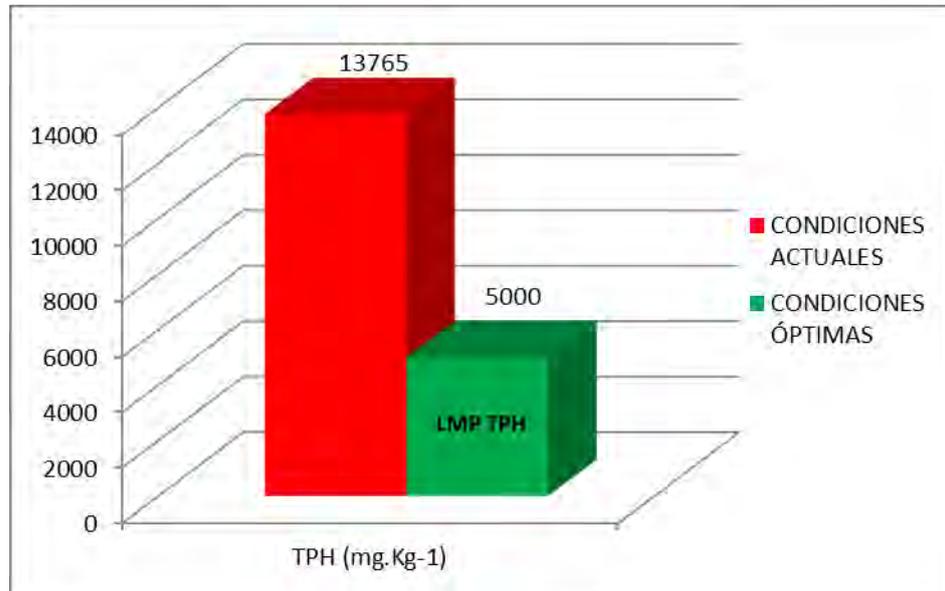


Fuente: Informe de Ensayo N° 027-EN/11 de 19.Ene.2011.

Figura 75. Características de la arena fina de playa no salinizada, proveniente de Lurín

- 6.6.** El nivel de TPH en las Mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (borra de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada) superó el LMP de $\leq 5\ 000\ \text{mg.Kg}^{-1}$ en suelos, por consiguiente es considerado como residuo peligroso (Figura 76). Cabe indicar, que el nivel de TPH obtenido disminuyó en un 57.5 % en comparación al TPH de las borras de hidrocarburos.

De lo expuesto, se deduce que el ecosistema natural está trabajando en respuesta a la contaminación de hidrocarburos degradando y descomponiendo las concentraciones de TPH.

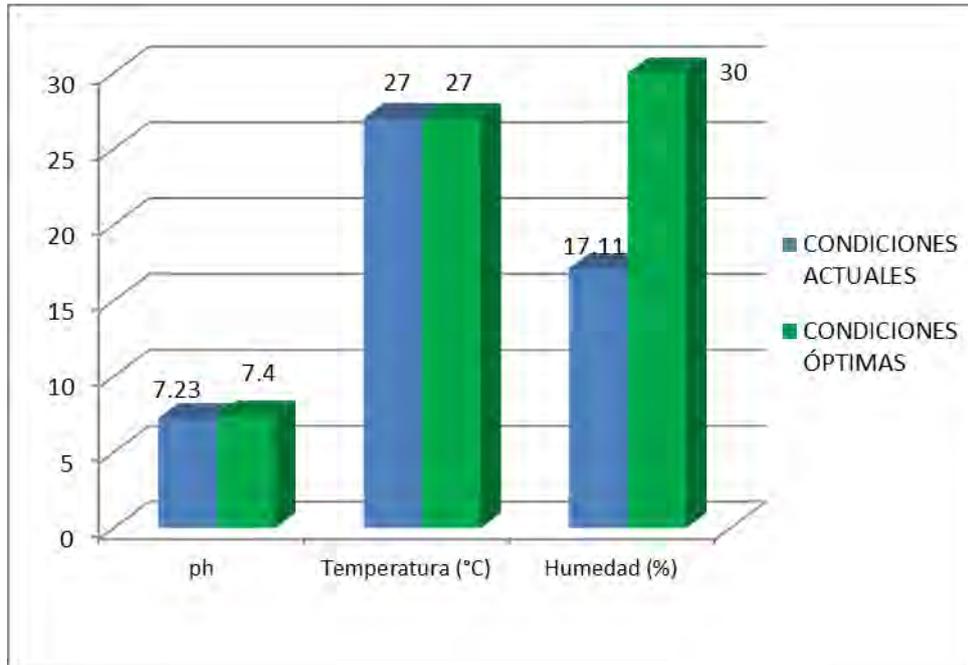


Fuente: Informe de Ensayo N° IE 112011 de 17.Mar.2011 de la Mezcla (borras de hidrocarburos + suelo agrícola + arena).

Figura 76. Cantidad de TPH en la Mezcla (borras de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada)

Informe de Ensayo N° IE 112011 de 17.Mar.2011 de la Mezcla (borras de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada) se adjunta en el Anexo IV.

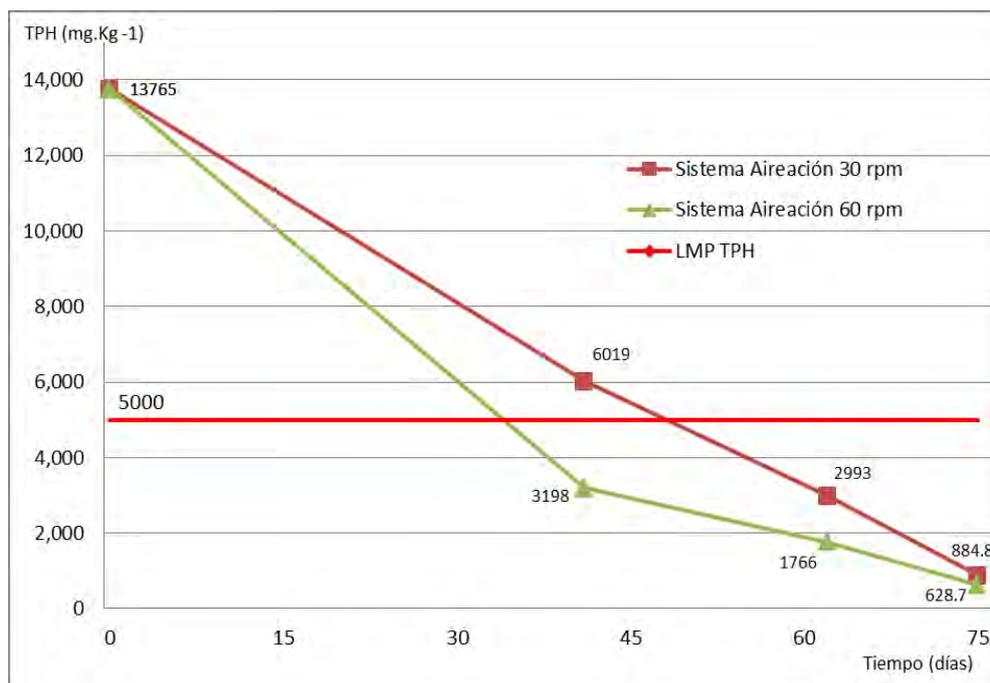
- 6.7.** Los resultados obtenidos en pH (7,23), temperatura (27 °C), humedad (17,11 %) en la Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se encuentran dentro de las condiciones óptimas para aplicar la aireación como tratamiento biológico (Figura 77).



Fuente: Informe de Ensayo Nº IE 112011 de 17.Mar.2011 de la Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (borra de hidrocarburos, suelo agrícola y arena).

Figura 77. Resultados de pH, temperatura, humedad, agua y sedimentos en la Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (borras de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada)

- 6.8.** En los sistemas de Aireación de 60 y 30 rpm, la tendencia del TPH fue descendiente. El Sistema de Aireación de 60 rpm fue más efectivo que el de 30 rpm, puesto que el día 42 ya había alcanzado el LMP de TPH mientras que el segundo alcanzó el LMP después del día 42. Asimismo, en 75 días de tratamiento, en el Sistema de Aireación de 60 rpm ocurrió una degradación de TPH de la Mezcla igual a un 95,43 % y en el Sistema de Aireación de 30 rpm una degradación igual al 93,57 % (Figura 78).



Fuente: Informes de Ensayo Nº IE 115511 de 18.Abr.2011, Nº IE 115611 de 18.Abr.2011, Nº IE 119611 de 13.May.2011, Nº IE 119511 de 13.May.2011, Nº IE 120811 de 26.May.2011 y Nº IE 120911 de 26.May.2011.

Figura 78. Tendencia del TPH en las mezclas de los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm.

De lo expuesto se evidencia, que la influencia de la aireación en el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos es fundamental, porque conlleva a la degradación de un promedio de 94,5 % de los niveles TPH. Y a la obtención de valores menores al LMP de TPH en suelo ($\leq 5\ 000\ \text{mg.Kg}^{-1}$) en 42 y 62 días de tratamiento en los Sistemas de aireación de 60 y 30 rpm, respectivamente. Cabe indicar, que el LMP de TPH en suelo contaminado por hidrocarburos, es una propuesta de la DGAAE del MEM.

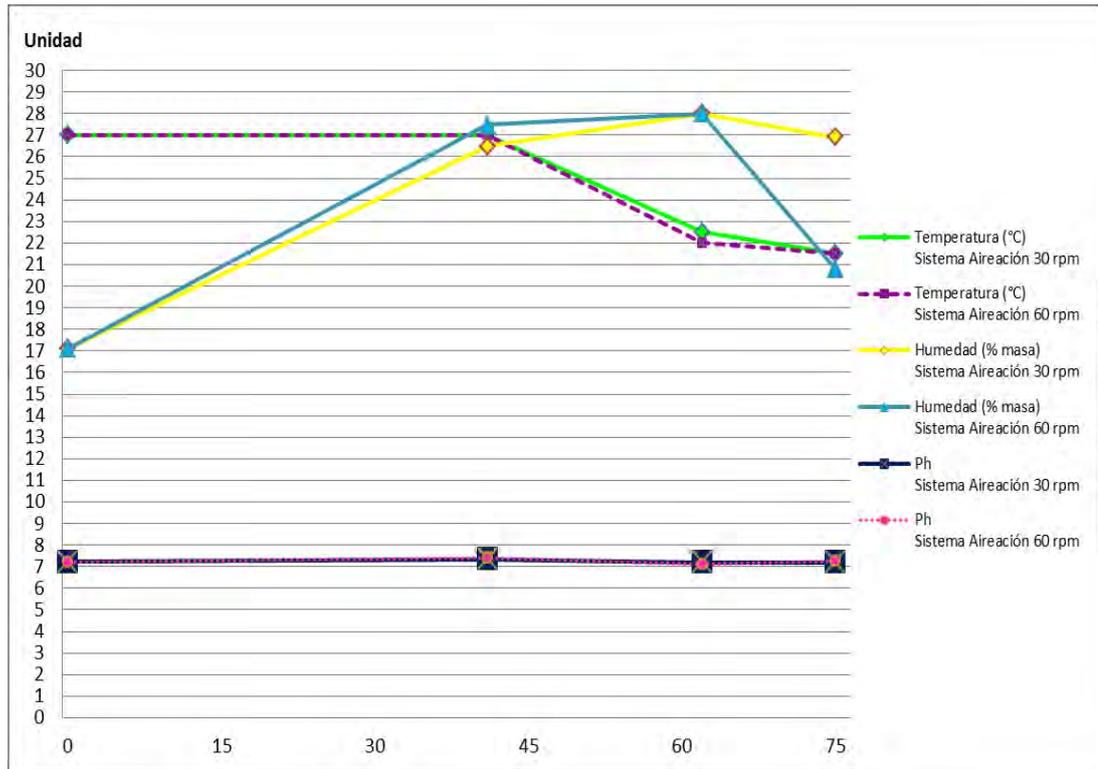
En ese sentido, se considera a la aireación en el Tratamiento Biológico de borras de hidrocarburos como una herramienta principal para inducir un proceso degradativo, ratificando con ello, lo ya comprobado en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

Los Informes de Ensayo N° IE 115511 de 18.Abr.2011, N° IE 115611 de 18.Abr.2011, N° IE 119611 de 13.May.2011, N° IE 119511 de 13.May.2011, N° IE 120811 de 26.May.2011 y N° IE 120911 de 26.May.2011 se adjuntan en el Anexo V.

- 6.9.** Siendo que no se inoculo microorganismos exógenos, se deduce que los microorganismos autóctonos de las borras de hidrocarburos reaccionaron favorablemente a la estimulación de la aireación y la humectación, degradando los niveles de TPH a valores menores al LMP en suelo contaminado por hidrocarburos propuesto por la DGAAE del MEM, en 41 y 62 días de tratamiento en los Sistemas de Aireación de 60 y 30 rpm, respectivamente; asimismo, en 75 días de tratamiento, los niveles de TPH fueron degradados en un promedio de 94,5 %.

En consecuencia se ratifica la biodegradabilidad del TPH por microorganismos autóctonos demostrado en otros experimentos.

- 6.10.** Asimismo, ambientalmente es aceptable debido a que cumple con los objetivos de remediación de evitar toda migración o movimiento de las sustancias tóxicas fuera de las zonas contaminadas y reducir el TPH a valores menores del LMP de suelos contaminados.
- 6.11.** En los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm, los parámetros tuvieron los siguientes resultados:
- ✓ La temperatura de las mezclas fluctuó en un rango de [21,5 – 27,0 °C].
 - ✓ La humedad de las mezclas fluctuó en un rango de [17 – 30 %].
 - ✓ El pH de las mezclas fluctuó en un rango de [7,1 – 7,3].
(Figura 79)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 79. Tendencia de las Variables Intervinientes en las mezclas de los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm.

Por los resultados obtenidos en los niveles de THP, menores al LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos, se aduce que los rangos de humedad, pH y temperatura a los que estuvo expuesta la muestra fueron los óptimos, al igual que los niveles de materia orgánica, fósforo y textura del suelo agrícola.

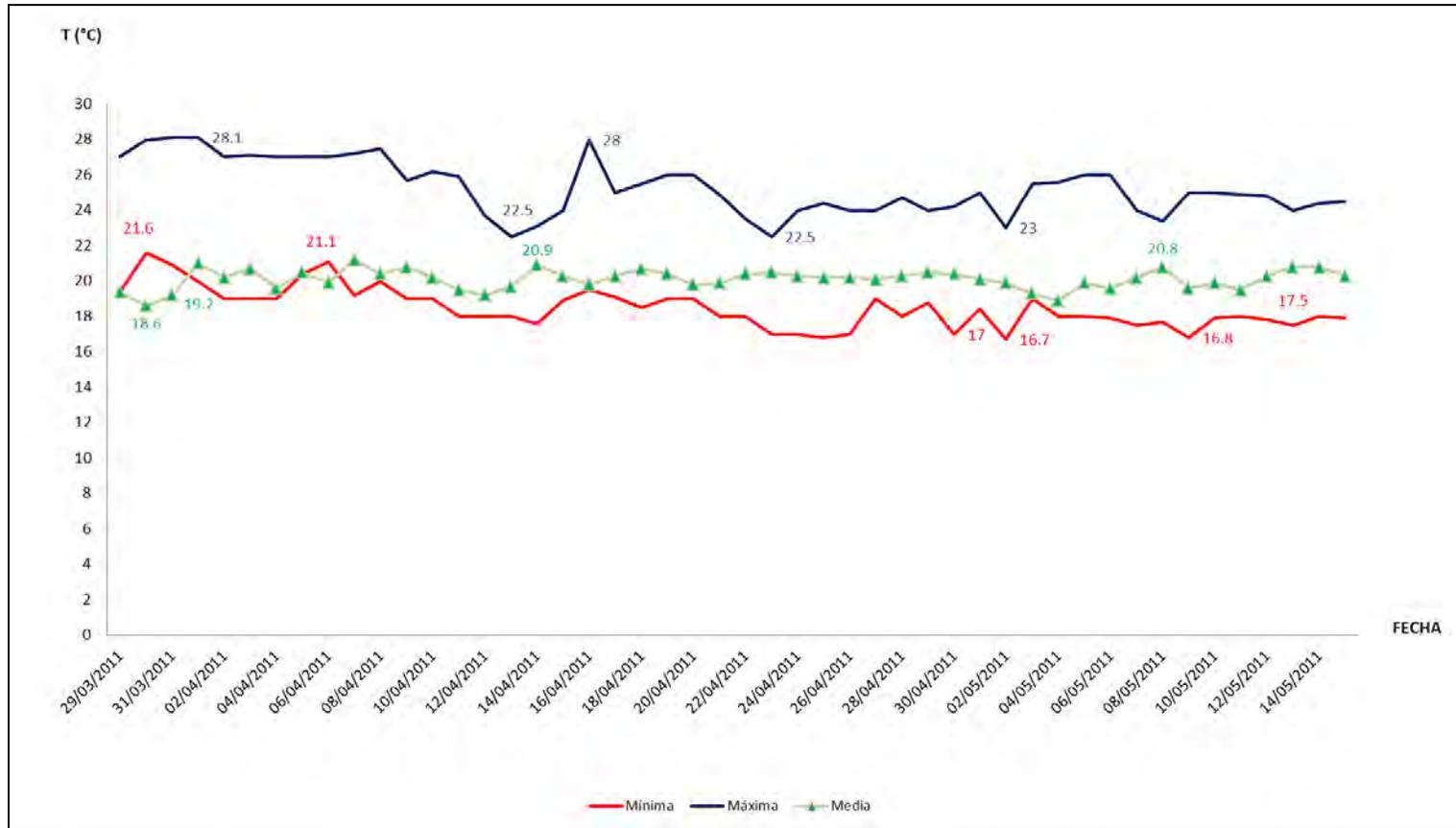
En el Anexo VI se detalla los volúmenes de agua que se añadió a la mezcla durante el periodo de Tratamiento Biológico en los Sistemas de Aireación 30 y 60 rpm.

6.12. Respecto a las condiciones ambientales, según reporte del SENAMHI éstas tuvieron el siguiente comportamiento:

- ❖ La temperatura ambiental media durante el periodo del experimento (03.Mar al 16.May. 2011), fluctuó entre 16.7 a 28.1 °C, contribuyendo así al desarrollo del proceso aeróbico.
- ❖ La Velocidad Promedio del Viento durante el periodo del experimento (03.Mar al 16.May. 2011), fluctuó entre 4,8 y 16.5 Km/h, contribuyendo así al desarrollo del proceso aeróbico.
- ❖ La Humedad Relativa Media Ambiental durante el periodo del experimento (03.Mar al 16.May. 2011), fluctuó entre 66 a 90 %, contribuyendo así al desarrollo del proceso aeróbico.

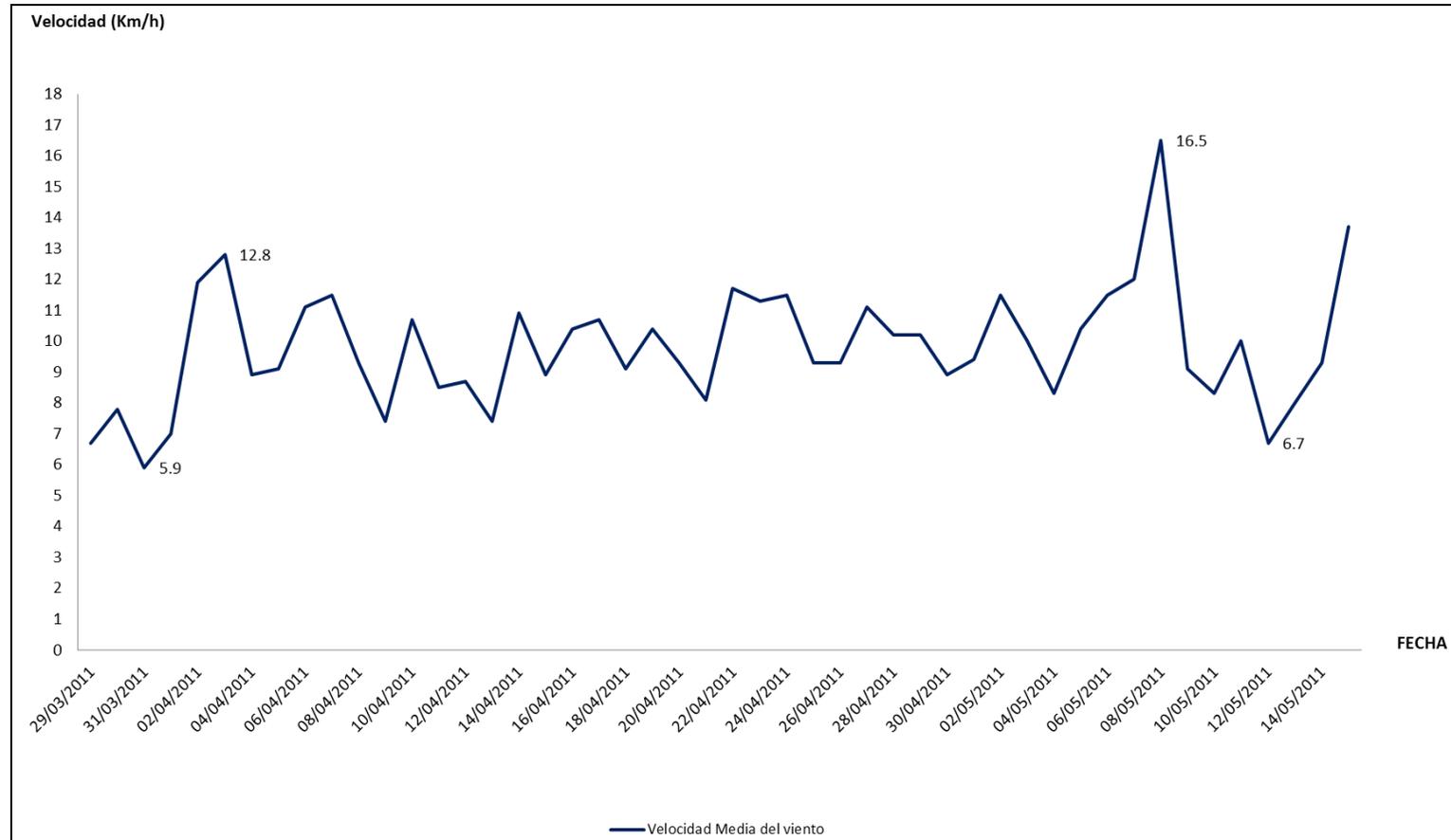
(Ver Figuras 80, 81 y 82)

6.13. La Mezcla 7 no fue aireada, visualizándose en el día 75 a una consistencia compacta.



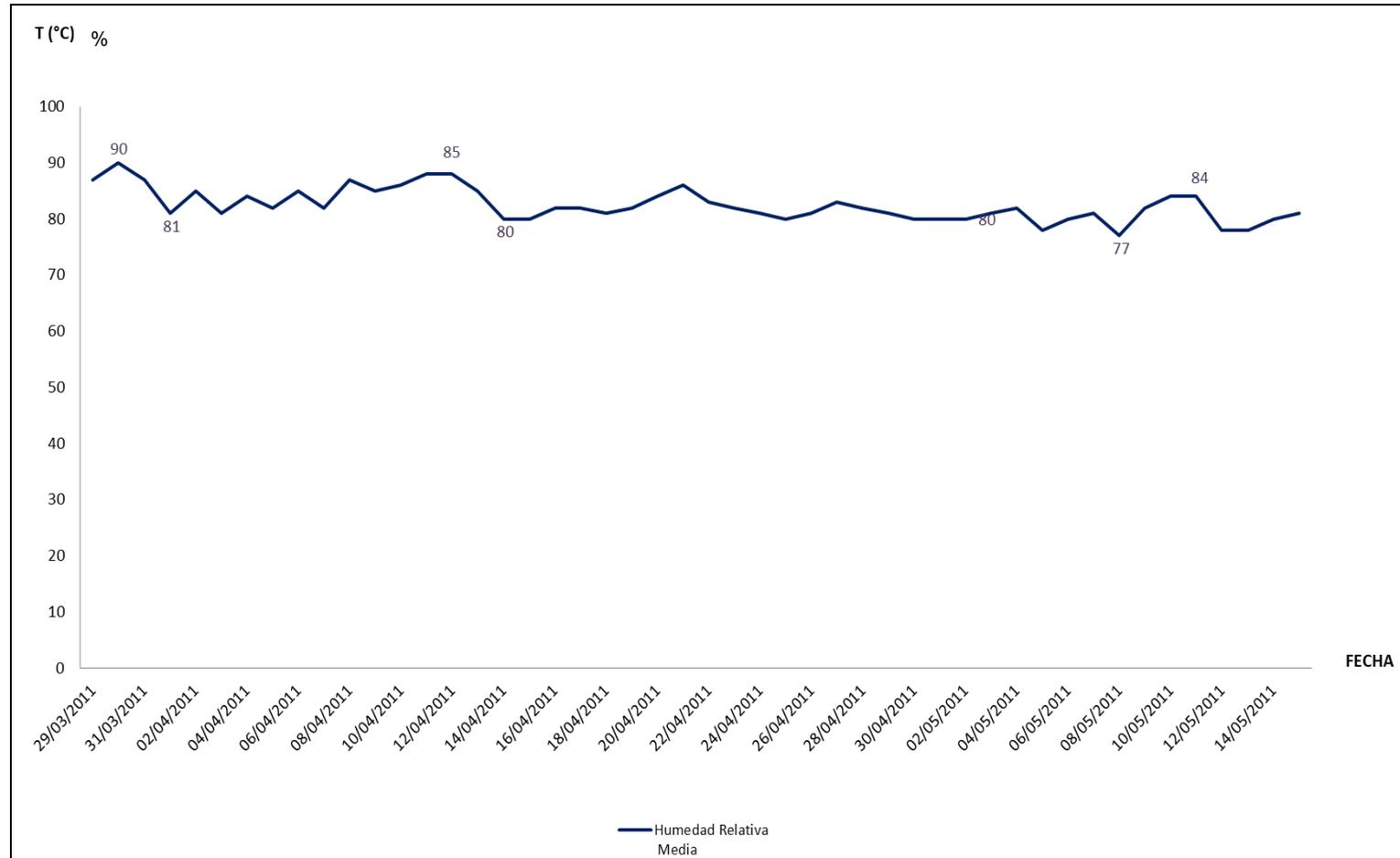
Fuente: Senamhi

Figura 80. Temperatura promedio en el periodo del 03.Mar al 16.May.2011



Fuente: Senamhi.

Figura 81. Velocidad Media del Viento en el periodo del 03.Mar al 16.May.2011



Fuente: Senamhi.

Figura 82. Humedad Ambiental durante el periodo del 03.Mar al 16.May.2011

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

CAPITULO VII. CONCLUSIONES

- ✓ La concentración inicial de TPH en las borras de hidrocarburos provenientes de la Refinería de Talara fue igual a $23\,933\text{ mg.Kg}^{-1}$, superando así el LMP de THP en suelos ($\leq 5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$) contaminados por hidrocarburos, propuesto por la DGAAE del MEM.
- ✓ La concentración inicial de TPH en las borras de hidrocarburos mezclada con tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25 fue igual a $13\,765\text{ mg.Kg}^{-1}$, superando así el LMP de THP en suelos ($\leq 5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$) contaminados por hidrocarburos, propuesto por la DGAAE del MEM.
- ✓ La concentración de TPH en las borras de hidrocarburos mezclada con tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25, y con una aireación de 60 rpm fue menor a $5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$, en el día 42 de tratamiento.
- ✓ La concentración de TPH en las borras de hidrocarburos mezclada con tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25, y con una aireación de 30 rpm fue menor a $5\,000\text{ mg.Kg}^{-1}$, en el día 62 de tratamiento.
- ✓ La concentración final de TPH en las borras de hidrocarburos mezcladas con tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada en una proporción

de 1:5:1.25, y con una aireación de 60 rpm fue igual a 628,7 mg.Kg⁻¹, en el día 75 de tratamiento; representando una degradación de TPH del 95,43 %.

- ✓ La concentración final de TPH en las borras de hidrocarburos mezclada con tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25, y con una aireación de 30 rpm fue igual a 884,8 mg.Kg⁻¹, en el día 75 de tratamiento; representando una degradación de TPH del 93,57 %. Por lo tanto, se deduce que el Sistema de Aireación de 60 rpm es más eficiente que el Sistema de Aireación de 30 rpm en la degradación de los niveles de TPH.
- ✓ Las concentraciones de TPH en las borras de hidrocarburos aplicando aireación como tratamiento biológico se disminuyó a niveles menores de 5 000 mg.Kg⁻¹ (Límite Máximo Permisible para suelos superficiales de 0 – 0,30 m de profundidad contaminado con hidrocarburos, propuesto por la DGAAE del MEM).
- ✓ Los niveles de temperatura, humedad, sales solubles totales, pH, agua y sedimentos de la borras de hidrocarburos y de la mezcla son adecuados para el tratamiento biológico mediante la aireación.
- ✓ Los niveles de pH, materia orgánica y fósforo disponible de la tierra agrícola, brindan los nutrientes adecuados para el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos mediante la aireación.
- ✓ Los rangos de humedad (17 – 30 %), pH (7,1 – 7,3) y temperatura (21,5 – 27,0 °C) a los que estuvo expuesta la muestra son los óptimos en el tratamiento biológico mediante la aireación.
- ✓ Los microorganismos autóctonos de las borras de hidrocarburos han reaccionado favorablemente a la estimulación de la aireación de 30 y 60 rpm, y a la humectación, siendo que han degradado un promedio de 94,5 % los niveles de TPH.

- ✓ La influencia de la aireación en el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos es una herramienta principal para inducir un proceso degradativo de TPH.
- ✓ La aplicación de la aireación en el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos si es ambientalmente factible.
- ✓ La disminución del TPH en las borras de hidrocarburos a valores menores al LMP de TPH en suelos contaminados con hidrocarburos, se obtuvo bajo las condiciones establecidas en el presente experimento, en el cual no se modificó los parámetros iniciales de las borras de hidrocarburos, tierra agrícola, arena fina no salinizada, mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina no salinizada), suelo sin inoculación de microorganismos, condiciones ambientales y sistema de aireación de 30 y 60 rpm.

CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES

CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES

- ✓ Plasmar el presente experimento a escala real manteniendo las mismas condiciones de aireación, pH, temperatura y humedad en la mezcla; empleando el mismo tipo y proporción de borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina no salinizada; y las mismas condiciones ambientales a los que estuvo expuesta la mezcla.

- ✓ Proyectar el costo económico - ambiental que implicará llevar el presente experimento a escala real.

- ✓ Proyectar a escala real, el volumen de borras de hidrocarburos que podrá tratarse anualmente mediante el presente Sistema de Tratamiento, y determinar los costos económicos – ambientales que ello implicaría.

- ✓ Proyectar a escala real, el volumen de borras de hidrocarburos que se dejaría de disponer en los rellenos de seguridad mediante el presente Sistema de Tratamiento, y determinar los costos económicos - ambientales que implicaría.

- ✓ Realizar el recuento microscópico de microorganismos a fin de determinar su correlación con la aireación en el tratamiento biológico de borras de hidrocarburos.

- ✓ Realizar los análisis de laboratorio por quintuplicado, a fin de plasmar en un modelo matemático la influencia de la aireación en el tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos.
- ✓ Realizar el análisis de la muestra en Blanco a fin de determinar la concentración de TPH en la mezcla no aireada, y validar que la muestra no fue contaminada durante el proceso de análisis de laboratorio.
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero modificando la concentración de las borras de hidrocarburos.
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero modificando las propiedades físico - químicas de la tierra agrícola (concentración de nutrientes, materia orgánica, pH y textura).
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero empleando arena fina de playa salinizada.
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero modificando los flujos de aireación.
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero modificando la proporción de tierra agrícola, borras de hidrocarburos y arena fina no salinizada empleada en la mezcla.
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero modificando la concentración de pH, el porcentaje de humedad y la temperatura de la Mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina no salinizada).
- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero en diferentes condiciones atmosféricas (temperatura ambiental, velocidad del viento y humedad relativa ambiental).

- ✓ Repetir el presente experimento bajo las mismas condiciones, pero empleando borras de hidrocarburos procedentes del crudo de petróleo liviano.
- ✓ Determinar el grado de salinidad de la mezcla durante el experimento.
- ✓ Realizar ensayos de toxicidad para determinar si el producto representa algún riesgo a la salud de las personas, bienestar de animales y plantas.
- ✓ Realizar un análisis del costo de tratamiento de una tonelada de borras de hidrocarburos tratados utilizando la aireación como técnica de tratamiento biológico, y compararlo con otras técnicas biológicas y físico-químicas que tratan suelos contaminados con hidrocarburos.
- ✓ Realizar estudios experimentales en base a la presente tesis, a fin de fortalecer el argumento, que la aireación en el tratamiento biológico de borras de hidrocarburos es una técnica deseable desde el punto de vista ecológico, en contraste a alternativas más costosas y de menor aceptación pública.

CAPITULO IX. FUENTES DE INFORMACIÓN

CAPITULO IX. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Schmidt Wini: Suelos Contaminados con Hidrocarburos La Biorremediación como una solución Ecológicamente Compatible. **Cooperación Técnica Alemana (GTZ)**. Ecuador. pp: 1 y 7.
2. Olea C y Otros. (2001): Biorremediación de Suelo Contaminado con Petróleo Crudo en Lotes Petroleros de la Selva Norte del Perú. **Pluspetrol y CAREC Perupetro**. Perú. p: 2/22.
3. O. H. Pucci, M. A. Bak, S. R. Peressutti de Ceima – Fcn – Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - República Argentina; y L. Wünsche, I. Klein, C. Härtig de Ufz – Umweltforschungszentrum Leipzig - Halle Bmbh de la República Federal de Alemania. (1998): Proceso Biológico de eliminación de Hidrocarburos en Zonas Semi Áridas. **INGEPET '99 EXPL-8-OP-11**. Argentina. p: 10.
4. Ercoli E. C, Gálvez J. A. y otros. (1999): Biorremediación de Suelos Altamente Contaminados. Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. **INGEPET '99 EXPL-8-EE-03**, Mendoza - Argentina. pp: 1, 2, 3 y 4/11.
5. Ururahy Adriana y otros. (1998): Efecto de la Aireación en la Biodegradación de los Residuos de Petróleo. **Revista de Microbiología. Versión de**

impresión ISSN 0001-3714 Reverendo Environmental Vol.29 n.4. Sao Paulo-Brasil. Doi: 10.1590/S0001-37141998000400004.

6. Soto Gladys Cárdenas Carmen y otros. (1998). Biorremediación in vitro de un suelo contaminado con hidrocarburo utilizando bacterias autóctonas. **PDVSA Universidad del Zulia. Centro de Investigaciones del Agua-INPELUZ**. Venezuela. p: 3/18.
7. Rafaele Ghellere Dal Forno (2006): Evaluación de la contaminación del suelo por el petróleo y su remediación. **Universidad Federal de Paraná**. Brasil. pp 4, 10, 14 y 15/60.
8. Paineira María T. y De Antoni Graciela. (2001): Biorremediación de Mezclas Complejas de Hidrocarburos, Evaluación de la aplicación de inoculantes en procesos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos policíclicos aromáticos. **Laboratorio de Biodegradación Microbiológica de Hidrocarburos-Facultad de Ciencias Exactas-Universidad Nacional de la Plata 47 y 115 (1900) La Plata. 0221-4235333 Int. 38**. Argentina. p: 5/19.
9. Véscovo A (1996): Desarrollo Sustentable – Un buen negocio para la Industria y el Medio Ambiente. **Revista Petroquímica: Petróleo, Gas y Química. 119:8990.8993**.
10. Espinoza Eché José Jorge (Ene/Jun.2003): Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. **Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Volumen 6, N° 11, ISSN 1561-0888**. Perú. pp. 23, 25, 26 y 27/31.
11. Juan Guerrero B (2009): Porque debemos evitar pasivos ambientales de las actividades energéticas en el suelo. **Dirección General de Asuntos Ambientales y Energéticos – DGAAE/MINEM**. Perú. Diapositiva 145.

12. M.Sc. Manuel Navarro Pardo. Remediación de suelos afectados por hidrocarburos. **Maestría de Ingeniería Ambiental - Universidad de Piura**. Perú. p: 7/29.
13. Viñas Canals Marc (2005): Tesis de Doctorado Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. **Universidad de Barcelona**, España. pp: 11, 152, 153,154, 163, 171 y 178/342.
14. Graham Brenda Valderrama y Juan Téllez Sosa: Microbiología del Petróleo y sus derivados. **Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, AP 510-3, Cuernavaca, Mor. 62250**. México. pp: 1, 2, 4, 15 y 16/30.
15. Ramírez Edgard (Tratamiento de Emulsión Inversa) y Palacios Rubén (Remediación de Suelos) (1999): Tratamiento de Emulsiones Inversas y Remediación de Suelos de los Yacimientos de Maquia y Agua Calientes. **INGEPET '99 EXPL-8-RP-09.The Maple Gas Corporation del Perú, Sucursal Peruana - Perú**. pp: 5, 6 y 7/15.
16. Stanley E. Manahan (1era Edición 2007): Introducción a la Química Ambiental, **Universidad Autónoma de México**. ISBN: 968-36-6707-4. México. p: 512/667.
17. Compilado por Carrillo Castellanos J. Roger (1998): IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente, Volumen II, **Equinoccio Ediciones de la Universidad Simón Bolívar**. Venezuela, p: 325/331.
18. Arroyo Maroto, M^a Esther y Quesada Rogel Juan Manuel. Aplicación de Sistemas de Biorremediación de Suelos y Aguas Contaminadas por Hidrocarburos. **GEOCISA Div. Protección Ambiental de Suelos**. Perú. pp: 297-305.

19. Aycachi Inga Rómulo (2008): Biodegradación de Petróleo Diesel. **Facultad de Ciencias Biológicas Departamento de Microbiología y Parasitología- Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo**. Perú. pp: 16 y 15/25.
20. Observatorio Petrolero de Amanía Norte – PUINAMUJT (Pueblos Indígenas Amazónicos Unidos en Defensa de sus Territorios) (2012): Reporte: Instrumentos de Gestión Ambiental en el Lote 8 y 1AB. **Observatorio Petrolero de Amanía Norte – PUINAMUJT**. Perú. pp: 4/10.
21. Pretell Huamán Víctor Hugo (2011): Informe de Ensayos N° IE-111911. **Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros, Gas Natural y Derivados**. Perú. pp: 1/1.
22. Miyashiro Kiyon Víctor (2011): Análisis de Suelo. **Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología de la Universidad Nacional Agraria La Molina**. Perú. pp: 1/1.

ANEXOS

Anexo I. Cotizaciones de los Laboratorios de CERTIPETRO de la Universidad Nacional de Ingeniería y del Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria de la Molina.

Anexo II. El Informe de Ensayo N° IE 111911 de 17.Mar.2011 de la borra de hidrocarburos.

Anexo III. El Informe de Análisis de Suelo de Código de muestra LINGA/02201101 de 18.Feb.2011.

Anexo IV. Informe de Ensayo N° IE 112011 de 17.Mar.2011 de la Mezcla (borra de hidrocarburos, suelo agrícola y arena).

Anexo V. Los Informes de Ensayo N° IE 115511 de 18.Abr.2011, N° IE 115611 de 18.Abr.2011, N° IE 119611 de 13.May.2011, N° IE 119511 de 13.May.2011, N° IE 120811 de 26.May.2011 y N° IE 120911 de 26.May.2011.

Anexo VI. Provisión de agua diaria al Sistema de Aireación de 30 y 60 rpm.

Anexo I

**Cotizaciones de los Laboratorios de CERTIPETRO de la Universidad
Nacional de Ingeniería y del Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio
Ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO

SOLICITUD PARA SERVICIOS DE ENSAYOS N° SS-047-11

CERTIPETRO es un organismo acreditado por el INACAL (N° 001-2011-0001) para la prestación de servicios de ensayos de laboratorio en el campo de la Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica.

Fecha: 11.03.03 Hora: 15:00

1. DATOS DEL SOLICITANTE			
1.1	Nombre: HERRERA PINEDO, BRANIZA	1.3	Distrito: San Juan de Miraflores
1.2	Dirección Legal: Mz M7 Lto. 3 Vilo San Luis	1.5	RUC N°: -
1.4	Provincia/Departamento: Lima/Lima	1.7	Referencia: Cotización N° CO-204-11-CERTIPETRO
1.6	Teléfono/Fax: 285042 / 882330949		
2. SERVICIOS SOLICITADOS			
2.1	Ensayos <input checked="" type="checkbox"/>	2.2	Inspección <input type="checkbox"/>
2.4	Otros (especificar)	2.3	Muestreo <input type="checkbox"/>
3. DATOS DE LAS MUESTRAS DE PRODUCTOS			
3.1	Nombre del producto según alcance de la acreditación:	3.2	Marca Comercial:
1	No Aplica		Borra <i>F. S. S. S. S. S.</i>
2	No Aplica		Suelo
3.3	Identificación de la muestra según el solicitante:	3.4	Cantidad de Muestra (L*Unidades, Peso, Volumen):
1			700 mL aprox.
2	Muestra 1		12 kilo aprox.
3.5	Presentación de la muestra:	3.6	Observaciones:
	Envase de vidrio y bolsa de plástico		Muestreo por el Cliente
4. ENSAYOS SOLICITADOS			
N°	Nombre del Ensayo o Servicio	Método de Ensayo Aplicable (Autor, Número, Año)	Valor por Ensayo (en soles)
Borra:			
1	Agua y Sedimentos	No Normalizado	320.00
2	PH	APHA 4500-H+	12.00
3	TPH	Adaptación EPA 1664	187.00
4	Humedad	Método Gravimétrico	35.00
5	Temperatura	No Normalizado	3.00
Suelo:			
1	PH	APHA 4500-H+	12.00
2	TPH	Adaptación EPA 1664	187.00
3	Humedad	Método Gravimétrico	35.00
4	Temperatura	No Normalizado	3.00
El cliente proporciona inóculos de ensayos (especificar)			Valor de los Servicios (91 muestra)
			795.00
			Descuento 50%
			398.00
			Valor Total del Servicio
			398.00
5. ENTREGA DE RESULTADOS:		6. ENTREGA DE CONTRAMUESTRAS	
¿Informe de ensayo en papel con símbolo de acreditación?		No	
Año: 2011 Mes: 3 Día: 17 Hora: 14:00		No	
7. OBSERVACIONES PREVIAS AL SERVICIO SOLICITADO.			
<ul style="list-style-type: none"> - El producto no ha sido muestreado por CERTIPETRO, por consiguiente el cliente acepta las condiciones en que se entreguen los resultados. - El cliente no trajo muestra de dimensión. Descuento automático según Memorandum N° 006-2011/DE-CERTIPETRO.			
BRANIZA PINEDO (D.N.I.C.B.) N°		 Ing. SARMI POMA FLORES Reg. COP N° 66741 Jefe de la Oficina de Servicios al Cliente CERTIPETRO Universidad Nacional de Ingeniería - UNI	

Forma: 01-011.004

CON FINES DE CONSUMO HUMANO: AGUA POTABLE	COSTO S/.
01 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	
Turbiedad	10,50
Sólidos totales	17,50
Hierro	17,50
Plomo	17,50
Cobre	17,50
Cadmio	17,50
Manganeso	17,50
Zinc	17,50
Boro	17,50
Magnesio	17,50
Sulfatos	21,00
Cloruros	21,00
Dureza total	17,50
Alcalinidad total	17,50
pH	10,50
Nitratos	35,00
Sodio	17,50
Total	308,00



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE



RECEPCIÓN DE MUESTRAS

En la Oficina del Laboratorio de Agua, Suelo y Medio Ambiente, ubicado a la espalda del Taller de Mecanización Agrícola. Ver croquis adjunto.

HORARIO DE ATENCIÓN

Brindamos nuestra atención en horario normal de lunes a viernes de 8:00 a.m. a 12:00 m. 1:00 p.m. a 4:00 p.m.



Departamento de Recursos de Agua y Tierra - DRAT

Av. La Molina s/n - La Molina - Perú
 Telefax: 6147800 anexo 226
 e-mail: las-fia@lamolina.edu.pe
 http://www.lamolina.edu.pe

Depositar en el Banco de Crédito
 Cta. Cte. en Nuevos Soles 191-0031059-0-26
FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO AGRARIO





Presentación

EL LABORATORIO DE AGUAS SUELOS Y MEDIO AMBIENTE del Departamento de Recursos de Agua y Tierra - DRAT de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como unidad académica y de servicios, viene funcionando desde el año de 1997.

Los servicios que prestamos son con fines de: fertilización de suelos y fertilización foliar, riegos, obras civiles, saneamiento rural y urbano, tratamiento y reutilización de aguas residuales, tratamiento de relaves mineros, instalación de piscigranjas entre otros.

Contamos para ello con un equipo profesional calificado, equipos e instrumentos de última generación, que nos permite ser competitivos en el mercado.

Nuestros servicios abarcan hasta la asistencia técnica para la toma de muestras de campo, interpretación de los resultados y la ejecución de estudios relacionados a la ingeniería en recursos hídricos. También realizamos la determinación del pH, CE y temperatura del agua *in situ*.

Próximamente ofreceremos el servicio de elaboración de fertilizantes en solución según cultivo y de acuerdo a los análisis de agua y suelo.

ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA	
CON FINES DE CONSTRUCCIÓN	COSTO S/.
01 Sales Solubles Totales, Cloruros Solubles, Sulfatos Solubles, C.E., Materia Orgánica y Carbonatos	21,00 (*)
02 pH	10,50

ANÁLISIS DE SUELO	
CON FINES DE AGRICULTURA	COSTO S/.
01 Completo de rutina: pH, CE, MO, P, K, carbonatos	35,00
02 Caracterización completa: Rutina, Textura y CIC	70,00
03 Salinidad y Sodicidad: Caracterización, Aniones, Cationes Solubles, Yeso Soluble y Boro.	122,50
04 Parámetros hídricos: CC, PM, Densidad, Textura	21,00 (*)
05 Micro elementos: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	21,00 (*)
06 Elementos pesados: Plomo, Cadmio, Cromo	35,00 (*)

ANÁLISIS DE AGUA	
CON FINES DE AGRICULTURA	COSTO S/.
01 Completo de rutina: Aniones, Cationes, pH, CE, Boro	52,50
02 Micro elementos: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	21,00 (*)
03 Elementos pesados: Plomo, Cadmio, Cromo	21,00 (*)
04 Nitratos	35,00
05 Dureza, Alcalinidad, Sólidos en Suspensión, Turbidez	21,00 (*)

ANÁLISIS DE AGUA	
CON FINES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	COSTO S/.
01 FÍSICO-QUÍMICOS	
pH	10,50
Temperatura <i>in situ</i>	3,50
Humedad <i>in situ</i>	24,00
Turbiedad, acidez, cloruros, sulfatos, carbonatos Bicarbonatos	21,00 (*)
Alcalinidad total, CE, Dureza: total, Cálcica, no carbonatada, Sólidos: totales, Fijos, Volátiles, Suspensos, Disueltos, Sedimentables	21,00 (*)
02 NUTRIENTES	
Nitrógeno total	138,00
Fósforo Total y Fósforo Soluble	34,50 (*)
03 INDICADORES BIOQUÍMICOS	
Oxígeno Disuelto <i>in situ</i>	14,00
Demanda Bioquímica del Oxígeno	42,00
Demanda Química del Oxígeno	49,00
04 METALES	
Cd, Ca, Zn, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Pb, K, Na	35,00 (*)
05 Aceites y Grasas	35,00

(*) Costos unitarios para cada elemento por separado

Anexo II

**El Informe de Ensayo N° IE 111911 de 17.Mar.2011 de la Borra de
Hidrocarburos.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO

CENTRO DE CERTIFICACIÓN, INSPECCIÓN Y ENSAYOS DE
PRODUCTOS PETROLEROS, GAS NATURAL Y DERIVADOS

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 111911

IE N° 111911/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección Legal	Mz M7 Lte 3 Villa San Luis -San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfonos / Fax	265042 / 982330949	
1.5	Registro Único del Contribuyente (N°)	-----	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-047-11	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2011-03-03	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	05 Ensayos Físicoquímicos	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	---	
2.3	Marca Comercial o Especial de las Muestras	Borra	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	700 mL aprox.	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Envase de vidrio	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	Agua y Sedimentos (%vol)	97.0	No normalizado
3.2	PH	7.31	APHA 4500-H+
3.3	TPH, mg/kg	23.933	Adaptación EPA 1664-2001
3.4	Humedad	23.19	Método Gravimétrico
3.5	Temperatura	27.0	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
-			
<p>Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:</p> <ul style="list-style-type: none"> El presente Informe de ensayos se refiere únicamente a la muestra analizada. Cualquier corrección o emenda en el contenido del presente documento, lo anula automáticamente. Las emendas al presente documento no efectuadas por CERTIPETRO, constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales reguladas por dispositivos legales vigentes. Esta prohibida la reproducción parcial del presente Informe de ensayo. El uso de la reproducción parcial también constituye un delito contra la fe pública. El presente Informe de ensayos es válido por noventa (90) días calendario, contados a partir de la fecha de su emisión. El presente Informe de ensayos, el logotipo y nombre de CERTIPETRO no pueden ser utilizados para fines publicitarios. Salvo previa autorización escrita del Director Ejecutivo de CERTIPETRO o del Decano de la Facultad de Ingeniería de Petróleo-UNI. 			
Rimac, 17 de Marzo del 2011			
  ING. VICTOR HUGO PRETELL HUAMÁN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO			
Formato CTL-005-03			

Anexo III

**El Informe de Análisis de Suelo de Código de muestra LINGA/02201101 de
18.Feb.2011.**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL, FISICA Y METEREOLOGIA
LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BRANIZA HERRERA PINEDA
 PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/
 CODIGO DE MUESTRA : LINGA/02201101
 FECHA DE RESEPCION : 07/02/2011

ANALISIS FISICO - QUIMICO

<i>pH</i>		7.85
SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES.	<i>(ppm)</i>	3835
MATERIA ORGANICA	%	4.91
FÓSFORO	%	0.04

La Molina, 18 de Febrero del 2011

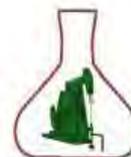

 Ing. Victor Miyashiro Kiyari
 Jefe del laboratorio de ingeniería Ambiental

Anexo IV

Informe de Ensayo N° IE 112011 de 17.Mar.2011 de la Mezcla (borra de hidrocarburos, suelo agrícola y arena).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO
 CENTRO DE CERTIFICACIÓN, INSPECCIÓN Y ENSAYOS DE
 PRODUCTOS PETROLÍFEROS, GAS NATURAL Y DERIVADOS

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 112011

IE N° 112011/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección Legal	Mz M7 Lte. 3 Villa San Luis - San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfonos / Fax	285042 / 982330949	
1.5	Registro Único del Contribuyente (N°)	-----	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-047-11	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2011-03-03	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	04 Ensayos Físicoquímicos	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	Muestra 1	
2.3	Marca Comercial o Especial de las Muestras	Suelo	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	1/2 kilo aprox.	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Bolsa de Plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	PH	7,23	APHA 4500-H+
3.2	TPH mg/kg	13 765	Adaptación EPA 1664-2001
3.3	Humedad	17.11	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura	27,0	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
<p>Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:</p> <p>- El presente informe de ensayos se refiere únicamente a la muestra analizada.</p> <p>- Cualquier corrección o omisión en el contenido del presente documento, su envío automático, las emendas al presente documento no efectuadas por CERTIPETRO, constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales regladas por dispositivos legales vigentes.</p> <p>- Esta prohibida la reproducción parcial del presente informe de ensayo. El uso de la reproducción parcial también constituye un delito contra la fe pública.</p> <p>- El presente informe de ensayos es válido por noventa (90) días calendario, contados a partir de la fecha de su emisión.</p> <p>- El presente informe de ensayos, el logotipo y nombre de CERTIPETRO no pueden ser utilizados para fines publicitarios. Salvo previa autorización escrita del Director Ejecutivo de CERTIPETRO o del Decano de la Facultad de Ingeniería de Petróleo-Lima.</p> <p>Rímac, 17 de Marzo del 2011</p>			
		 ING. VICTOR HUGO PRETELL HUAMÁN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO	
Formato DTL-005-03			

Anexo V

Los Informes de Ensayo N° IE 115511 de 18.Abr.2011, N° IE 115611 de 18.Abr.2011, N° IE 119611 de 13.May.2011, N° IE 119511 de 13.May.2011, N° IE 120811 de 26.May.2011 y N° IE 120911 de 26.May.2011.

**Informes de Ensayo N° IE 115611 de 18.Abr.2011 del Sistema de Aireación
de 60 rpm.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO

Laboratorio de Calidad, Inspección y Pruebas de
Productos Petroleros, Gas Natural, y Petroquímicos

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 115611

IE N° 115611/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección Legal	Mz M7 Lta. 3 Villa San Luis - San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfono / Fax	265042 / 982330946	
1.5	Registro Único del Contribuyente (RUC)	-	
1.6	Solicitud de Servicio de Ensayo (N°)	SS-053-11	
1.7	Fecha de Recepción de Muestra	2011-04-12	
1.8	Ensayo / Servicio Solicitado	04 Ensayo de Floculación	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-	
2.2	Identificación de Muestra Representativa	Muestra 2	
2.3	Materia Prima o Etapa de las Muestras	Suelo	
2.4	Número de Muestras Representativas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Representativa	1.2 Kg aprox	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Bolsa de Plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	METODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	pH	7.40	APHA 4500-H+
3.2	TPH mg/g	3.188	Adaptación EPA 1664-2001
3.3	Humedad	27.47	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura	27.0	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
<p>Exposición sobre el uso del Informe de Ensayos:</p> <ul style="list-style-type: none"> El presente informe de ensayos es válido únicamente si es utilizado tal como es. Quedan prohibidos la reutilización o modificación de los datos presentados, sin la autorización expresa de CERTIPETRO. Las modificaciones presentadas en los datos por CERTIPETRO, dependen de los errores de laboratorio y de los errores de los clientes, y deben ser reportados al laboratorio que los generó. El presente informe de ensayos es válido únicamente si es utilizado tal como es. El presente informe de ensayos es válido únicamente si es utilizado tal como es. El presente informe de ensayos es válido únicamente si es utilizado tal como es. 			
<p>Revisó: 18 de Abril del 2011</p> <div align="right">  ING. VICTOR HUGO PRETELL HUAMAN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO </div>			
<p>Firmado en Lima, Perú, el 18 de Abril del 2011.</p>			

**Informes de Ensayo N° IE 119611 de 13.May.2011 del Sistema de Aireación
de 30 rpm.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO
INSTITUTO TECNOLÓGICO, METROLÓGICO Y ANALÍTICO DE
PETRÓLEO, GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 119611

C N° 119611/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Beneficiario (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección/Local	Mz M7 Lto. 3 Villa San Luis - San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfono / Fax	982330949	
1.5	Registro Único del Contribuyente (RUC)	---	
1.6	Servidumbre Servicio de Energía (SSE)	SS-101-11	
1.7	Fecha de Recepción de Muestra	2011-05-03	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	04 Ensayos Fisicoquímicos	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Comercial)	-	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	Muestra 4	
2.3	Marca Comercial o Etiqueta de las Muestras	Suelo	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	700 gr aprox.	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Envase de Plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	PH	7.20	APHA 4500-H+
3.2	TPH, mg/kg	1.943	Adaptación EPA 1654-2001
3.3	Humedad (%Masa)	25.0	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura (°C)	20.5	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
-			
<p>Declaración de validez de los datos obtenidos:</p> <p>- El presente informe de resultados tiene validez en la medida en que:</p> <p>- El cliente ha especificado correctamente el método de ensayo de acuerdo a sus necesidades.</p> <p>- Los métodos de ensayo utilizados en el laboratorio CERTIPETRO corresponden a normativas de la Sociedad peruana de ensayos de laboratorio (SPEL) y sus normas equivalentes reconocidas por el Estado peruano.</p> <p>- El personal que realiza los ensayos cuenta con la capacitación adecuada y vigente.</p> <p>- El laboratorio cumple con los requisitos de calidad establecidos en la Norma Técnica peruana de ensayos de laboratorio (NT 16000).</p> <p>- El presente informe proporciona información de los resultados de los ensayos solicitados.</p> <p>- El presente informe es válido para fines de control de calidad y cumplimiento de requisitos.</p> <p>- El presente informe es válido para fines de control de calidad y cumplimiento de requisitos.</p> <p>- El presente informe es válido para fines de control de calidad y cumplimiento de requisitos.</p>			
<p>Fecha: 13 Mayo del 2011</p>			
		 	
		ING. VICTOR HUGO PRETEL HUAMAN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO	

Forma 011-001-03

Informes de Ensayo N° IE 119511 de 13.May.2011 del Sistema de Aireación de 60 rpm.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 119511

IE N° 119511 Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)		HERRERA PINEDO, BRANIZA
1.2	Dirección Legal		Mz. M7 Lta. 3 Villa San Luis - San Juan de Miraflores
1.3	Provincia / Departamento		Lima/Lima
1.4	Teléfono / Fax		982330040
1.5	Registro (proceso del Consumidor, etc.)		
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (M)		SE-101-11
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud		2011-05-03
1.8	Ejemplar / Servicios Solicitados		04 Ensayos Fisicoquímicos
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Etiquetado / Nombre Genérico		
2.2	Identificación de las Muestras Responsables		Muestra 3
2.3	Marca Comercial o Especificación de las Muestras		Suelo
2.4	Número de Muestras Responsables		01
2.5	Cantidad de Muestras Responsables		1/2 kilo aprox
2.6	Forma de Presentación de las Muestras		Envase de plástico
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	PH	7.10	APHA 4500-H+
3.2	TPH, mg/kg	1.766	Adaptación EPA 1854-2001
3.3	Humedad (Masa)	28.0	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura (°C)	22.0	No registrado
4. OBSERVACIONES			
<p>Especificaciones técnicas vigentes del Sistema de Ensayos:</p> <p>El presente informe de Ensayos es válido para el periodo de tiempo establecido en el presente informe.</p> <p>Los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de CERTIPETRO, corresponden a los datos de la muestra y a la metodología de ensayo utilizada en el momento de la realización de los ensayos.</p> <p>Las especificaciones técnicas vigentes de los ensayos realizados en el laboratorio de CERTIPETRO, corresponden a los datos de la muestra y a la metodología de ensayo utilizada en el momento de la realización de los ensayos.</p> <p>El presente informe de Ensayos es válido para el periodo de tiempo establecido en el presente informe.</p> <p>El presente informe de Ensayos es válido para el periodo de tiempo establecido en el presente informe.</p>			
<p>Fecha: 13 de Mayo del 2011</p>			
		 ING. VICTOR HUGO PRECIADO MADAMÁN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO	

**Informes de Ensayo N° IE 120811 de 26.May.2011 del Sistema de Aireación
de 30 rpm.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO

CALLE CALLESMAYTA 2078, WASHINGTÓN 1, LIMA 18101, PERÚ
TEL: 3761 0274 EXT. 2002, WWW.CERTIPETRO.PE

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 120811

E N° 120811, Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Denominación (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección Legal	Mar N° Lta. 3 Mila San Luis - San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfono / Fax	982330946	
1.5	Registro Único del Contribuyente (RUC)	-----	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-108-11	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2011-05-18	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	06 Ensayos Fisicoquímicos	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	Muestra E	
2.3	Materia Contenedor o Especial de las Muestras	Suelo	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	700 gr. aprox	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Envase de plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	pH	7.20	APHA 450D-H+
3.2	TPH, mg/lg	884.8	Adaptación EPA 1664-2001
3.3	Humedad, (% masa)	26.9	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura, (°C)	21.5	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
<p>Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:</p> <p>El presente informe es resultado de un trabajo realizado de acuerdo a la metodología y los procedimientos establecidos en el presente documento, en las condiciones de laboratorio y de campo.</p> <p>Los resultados obtenidos en el presente informe de ensayos, son válidos y aplicables solo para el caso de la muestra y el método de ensayo especificado en el presente informe de ensayos.</p> <p>El presente informe de ensayos no constituye un informe de ensayos, en caso de la necesidad de proporcionar información adicional, favor comunicarse con el laboratorio.</p> <p>Este informe de ensayos es válido y válido por un periodo de 12 meses, contados a partir de la fecha de emisión.</p> <p>Este informe de ensayos es válido y válido de CERTIPETRO, en el ámbito de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, para el uso exclusivo de los clientes de CERTIPETRO y al Director de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica.</p> <p>Rimac, 26 de Mayo del 2011.</p>			
		ING. VICTOR HUGO PRETELL HUAMÁN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO	

Formulario DTU-008-03

Informes de Ensayo N° IE 120911 de 26.May.2011 del Sistema de Aireación de 60 rpm.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO
CENTRO DE INVESTIGACIONES, ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD
PETROLIO, GAS NATURAL Y PETROQUIMICA

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 120911

IE N° 120911/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	HERRERA PINEDO, BRANIZA	
1.2	Dirección Legal	Mz M7 Lte.-3 Villa San Luis - San Juan de Miraflores	
1.3	Provincia / Departamento	Lima/Lima	
1.4	Teléfono / Fax	982330949	
1.5	Régimen Único del Contribuyente (RUC)	-----	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-105-11	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2011-05-10	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	04 Ensayos Fisicoquímicos	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	Muestra 6	
2.3	Marca Comercial o Especial de las Muestras	Suelo	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	700 gr. aprox.	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Envase de plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	RESULTADOS OBTENIDOS	METODO DE ENSAYO APLICADO
3.1	PH	7.28	APHA 4500-H+
3.2	TPH (mg/kg)	828.7	Adaptación EPA 1994-2001
3.3	Humedad. (%mpsa)	20.8	Método Gravimétrico
3.4	Temperatura. (°C)	21.5	No normalizado
4. OBSERVACIONES			
<p>Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos: El presente informe de análisis se refiere únicamente a la muestra solicitada. Cada país, distribución o actividad en el mundo, de acuerdo a las leyes, normas y procedimientos. Las empresas o personas que piden los servicios de CERTIPETRO, como institución de calidad, no se responsabiliza de los errores que se cometan en el laboratorio legal o privado. Cada cliente se responsabiliza por el control de calidad de su laboratorio de análisis. El uso de la información para la toma de decisiones es un proceso interno a la empresa. El presente informe de ensayo se otorga por muestra (N°) de las cantidades, cantidad y punto de la fecha de la muestra. El presente informe de ensayo se otorga y tiene validez CERTIPETRO no pueden ser utilizados para fines distintos. Este informe es propiedad exclusiva del Director Técnico del CERTIPETRO de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica.</p>			
<p>Fecha: 26 de Mayo del 2011</p> <div style="text-align: right;">   ING. VICTOR HUGO PRETELL HUAMAN DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO </div>			
<p>Formulario DTL-025/03</p>			

Anexo VI

Provisión de agua diaria al Sistema de Aireación de 30 y 60 rpm.

Tabla I. Provisión de agua diaria al Sistema de Aireación de 30 rpm

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 1	Balde 2	Balde 3
0	03/03/2011	15:00:00	0,225	0,225	0,225
1	04/03/2011	13:40:00	0,187	0,187	0,187
2	05/03/2011	14:30:00	0,225	0,225	0,225
3	06/03/2011	13:50:00	0,225	0,225	0,225
4	07/03/2011	14:20:00	0,187	0,187	0,187
5	08/03/2011	14:35:00	0,225	0,225	0,225
6	09/03/2011	19:40:00	0,187	0,187	0,187
7	10/03/2011	14:30:00	0,187	0,187	0,187
8	11/03/2011	13:10:00	0,225	0,225	0,225
9	12/03/2011	14:55:00	0,225	0,225	0,225
10	13/03/2011	13:25:00	0,150	0,150	0,150
11	14/03/2011	14:45:00	0,150	0,150	0,150
12	15/03/2011	16:10:00	0,187	0,187	0,187
13	16/03/2011	15:45:00	0,187	0,187	0,187
14	17/03/2011	13:20:00	0,150	0,150	0,150
15	18/03/2011	13:30:00	0,075	0,075	0,075
16	19/03/2011	13:42:00	0,225	0,225	0,225
17	20/03/2011	13:20:00	0,225	0,225	0,225
18	21/03/2011	14:30:00	0,150	0,150	0,150
19	22/03/2011	14:40:00	0,187	0,187	0,187
20	23/03/2011	13:25:00	0,150	0,150	0,150
21	24/03/2011	15:35:00	0,150	0,150	0,150
22	25/03/2011	13:30:00	0,075	0,075	0,075
23	26/03/2011	21:25:00	0,225	0,225	0,225
24	27/03/2011	14:15:00	0,225	0,225	0,225
25	28/03/2011	14:55:00	0,225	0,225	0,225
26	29/03/2011	13:35:00	0,150	0,150	0,150

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 1	Balde 2	Balde 3
27	30/03/2011	15:25:00	0,150	0,150	0,150
28	31/03/2011	23:00:00	0,500	0,500	0,500
29	01/04/2011	22:00:00	0,225	0,225	0,225
30	02/04/2011	21:00:00	0,225	0,225	0,225
31	03/04/2011	11:00:00	0,225	0,225	0,225
32	04/04/2011	21:45:00	0,225	0,225	0,225
33	05/04/2011	21:45:00	0,225	0,225	0,225
34	06/04/2011	21:00:00	0,225	0,225	0,225
35	07/04/2011	14:30:00	0,225	0,225	0,225
36	08/04/2011	14:05:00	0,225	0,225	0,225
37	09/04/2011	13:50:00	0,225	0,225	0,225
38	10/04/2011	14:45:00	0,225	0,225	0,225
39	11/04/2011	14:25:00	0,225	0,225	0,225
40	12/04/2011	13:05:00	0,225	0,225	0,225
41	13/04/2011	14:23:00	0,225	0,225	0,225
42	14/04/2011	14:00:00	0,225	0,225	0,225
43	15/04/2011	14:25:00	0,225	0,225	0,225
44	16/04/2011	14:00:00	0,225	0,225	0,225
45	17/04/2011	14:15:00	0,187	0,187	0,187
46	18/04/2011	19:00:00	0,187	0,187	0,187
47	19/04/2011	17:20:00	0,187	0,187	0,187
48	20/04/2011	14:00:00	0,187	0,187	0,187
49	21/04/2011	14:20:00	0,187	0,187	0,187
50	22/04/2011	13:20:00	0,187	0,187	0,187
51	23/04/2011	13:25:00	0,187	0,187	0,187
52	24/04/2011	14:05:00	0,150	0,150	0,150
53	25/04/2011	14:10:00	0,150	0,150	0,150
54	26/04/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150
55	27/04/2011	13:45:00	0,150	0,150	0,150
56	28/04/2011	13:50:00	0,150	0,150	0,150
57	29/04/2011	14:10:00	0,150	0,150	0,150

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 1	Balde 2	Balde 3
58	30/04/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
59	01/05/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150
60	02/05/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
61	03/05/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150
62	04/05/2011	16:00:00	0,150	0,150	0,150
63	05/05/2011	16:10:00	0,150	0,150	0,150
64	06/05/2011	2:10:00	0,150	0,150	0,150
65	07/05/2011	14:50:00	0,150	0,150	0,150
66	08/05/2011	15:15:00	0,150	0,150	0,150
67	09/05/2011	15:20:00	0,150	0,150	0,150
68	10/05/2011	13:20:00	0,150	0,150	0,150
69	11/05/2011	13:15:00	0,150	0,150	0,150
70	12/05/2011	14:20:00	0,150	0,150	0,150
71	13/05/2011	13:40:00	0,075	0,075	0,075
72	14/05/2011	13:20:00	0,075	0,075	0,075
73	15/05/2011	13:22:00	0,075	0,075	0,075
74	16/05/2011	23:00:00	0,500	0,500	0,500

Fuente: Elaboración Propia

Tabla II. Provisión de agua diaria al Sistema de Aireación de 60 rpm

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 4	Balde 5	Balde 6
0	03/03/2011	15:30:00	0,225	0,225	0,225
1	04/03/2011	14:10:00	0,150	0,150	0,150
2	05/03/2011	14:50:00	0,150	0,150	0,150
3	06/03/2011	14:20:00	0,225	0,225	0,225
4	07/03/2011	14:45:00	0,225	0,225	0,225
5	08/03/2011	15:05:00	0,187	0,187	0,187
6	09/03/2011	20:10:00	0,187	0,187	0,187
7	10/03/2011	15:00:00	0,150	0,150	0,150
8	11/03/2011	13:40:00	0,187	0,187	0,187
9	12/03/2011	15:25:00	0,150	0,150	0,150
10	13/03/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
11	14/03/2011	15:15:00	0,225	0,225	0,225
12	15/03/2011	16:40:00	0,150	0,150	0,150
13	16/03/2011	16:15:00	0,150	0,150	0,150
14	17/03/2011	13:50:00	0,075	0,075	0,075
15	18/03/2011	13:50:00	0,075	0,075	0,075
16	19/03/2011	14:12:00	0,075	0,075	0,075
17	20/03/2011	13:50:00	0,225	0,225	0,225
18	21/03/2011	15:00:00	0,225	0,225	0,225
19	22/03/2011	15:10:00	0,187	0,187	0,187
20	23/03/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
21	24/03/2011	16:05:00	0,150	0,150	0,150
22	25/03/2011	14:00:00	0,075	0,075	0,075
23	26/03/2011	21:55:00	0,225	0,225	0,225
24	27/03/2011	14:45:00	0,225	0,225	0,225
25	28/03/2011	15:25:00	0,075	0,075	0,075
26	29/03/2011	14:05:00	0,225	0,225	0,225
27	30/03/2011	15:55:00	0,150	0,150	0,150
28	31/03/2011	23:00:00	0,300	0,300	0,300

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 4	Balde 5	Balde 6
29	01/04/2011	22:00:00	0,225	0,225	0,263
30	02/04/2011	21:00:00	0,225	0,225	0,263
31	03/04/2011	11:00:00	0,225	0,225	0,263
32	04/04/2011	21:45:00	0,225	0,225	0,263
33	05/04/2011	21:45:00	0,225	0,225	0,263
34	06/04/2011	21:00:00	0,225	0,225	0,263
35	07/04/2011	14:30:00	0,225	0,225	0,225
36	08/04/2011	14:05:00	0,225	0,225	0,225
37	09/04/2011	13:50:00	0,225	0,225	0,225
38	10/04/2011	14:45:00	0,225	0,225	0,225
39	11/04/2011	14:25:00	0,225	0,225	0,225
40	12/04/2011	13:05:00	0,225	0,225	0,225
41	13/04/2011	14:23:00	0,225	0,225	0,225
42	14/04/2011	14:00:00	0,225	0,225	0,225
43	15/04/2011	14:25:00	0,225	0,225	0,225
44	16/04/2011	14:00:00	0,225	0,225	0,225
45	17/04/2011	14:15:00	0,187	0,187	0,187
46	18/04/2011	19:00:00	0,187	0,187	0,187
47	19/04/2011	17:20:00	0,187	0,187	0,187
48	20/04/2011	14:00:00	0,187	0,187	0,187
49	21/04/2011	14:20:00	0,187	0,187	0,187
50	22/04/2011	13:20:00	0,187	0,187	0,187
51	23/04/2011	13:25:00	0,187	0,187	0,187
52	24/04/2011	14:05:00	0,150	0,150	0,150
53	25/04/2011	14:10:00	0,150	0,150	0,150
54	26/04/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150
55	27/04/2011	13:45:00	0,150	0,150	0,150
56	28/04/2011	13:50:00	0,150	0,150	0,150
57	29/04/2011	14:10:00	0,150	0,150	0,150
58	30/04/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
59	01/05/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150

N°	Fecha	Hora	Volumen de agua (L)		
			Balde 4	Balde 5	Balde 6
60	02/05/2011	13:55:00	0,150	0,150	0,150
61	03/05/2011	14:25:00	0,150	0,150	0,150
62	04/05/2011	16:00:00	0,150	0,150	0,150
63	05/05/2011	16:10:00	0,150	0,150	0,150
64	06/05/2011	2:10:00	0,150	0,150	0,150
65	07/05/2011	14:50:00	0,150	0,150	0,150
66	08/05/2011	15:15:00	0,150	0,150	0,150
67	09/05/2011	15:20:00	0,150	0,150	0,150
68	10/05/2011	13:20:00	0,150	0,150	0,150
69	11/05/2011	13:15:00	0,150	0,150	0,150
70	12/05/2011	14:20:00	0,150	0,150	0,150
71	13/05/2011	13:40:00	0,075	0,075	0,075
72	14/05/2011	13:20:00	0,075	0,075	0,075
73	15/05/2011	13:22:00	0,075	0,075	0,075
74	16/05/2011	23:30:00	0,500	0,500	0,500

Fuente: Elaboración propia

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Costes Económicos en la remediación de suelos contaminados .

Tabla 2. Cronograma de ejecución de la tesis .

Tabla 3. Valores obtenidos en los cálculos de las velocidades .

Tabla 4. Características de Equipos de Laboratorio utilizados .

Tabla 5. Presupuesto ejecutado en la tesis .

Tabla 6. Parámetros analizados en borras de hidrocarburos .

Tabla 7. Parámetros analizados en tierra agrícola .

Tabla 8. Parámetros analizados en arena fina de playa no salinizada .

Tabla 9. Parámetros analizados en la mezcla final (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura molecular de la borra de hidrocarburo.

Figura 2. Principios básicos de biorremediación.

Figura 3. Balanza Colgante Comercial.

Figura 4. Baldes de PVC 18 L.

Figura 5. Colador Multiusos de PVC N°2.

Figura 6. Esquema del equipo de aireación.

Figura 7. Equipo de aireación construido.

Figura 8. Características del instrumento de aireación.

Figura 9. Sistema de aireación de 30 y 60 rpm a utilizar en la etapa experimental.

Figura 10. Engranaje del Motor en el Sistema de Aireación de 30 rpm.

Figura 11. Engranaje de la Paleta giratoria en el Sistema de Aireación de 30 rpm.

Figura 12. Engranaje del Motor en el Sistema de Aireación de 60 rpm.

Figura 13. Engranaje de la Paleta giratoria en el Sistema de Aireación de 60 rpm.

Figura 14. Cálculo de la velocidad de la paleta giratoria.

Figuras 15 y 16. Paletas giratorias.

Figuras 17 y 18. Borrás de hidrocarburos de Refinería Talara.

Figuras 19 y 20. Homogeneización de las borras de hidrocarburos.

Figura 21. Pesado de 0,70 Kg de borras de hidrocarburos.

Figura 22. Muestra de borras de hidrocarburos rotulada.

Figuras 23 y 24. Tamización de la tierra agrícola.

Figuras 25 y 26. Pesado de 1,00 Kg de tierra agrícola tamizada.

Figuras 27 y 28. Pesado de 5,25 Kg de arena fina de playa no salinizada tamizada.

Figuras 29 y 30. Pesado de 3,00 Kg de tierra agrícola tamizada.

Figuras 31 y 32. Mezcla de 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa no salinizada.

Figuras 33 y 34. Mezcla Final: 0,60 Kg de borras de hidrocarburos, 3,00 Kg de tierra agrícola y 0,75 Kg de arena fina de playa no salinizada.

Figuras 35. Mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Figuras 36 y 37. Muestras de la mezcla (borra de Hidrocarburo, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada) y borra de hidrocarburo, para el análisis de parámetros químicos y biológicos.

Figuras 38 y 39. Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 con agua potable.

Figuras 40 y 41. Aireación a 30 y 60 rpm de las Mezclas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, manteniendo una humedad entre 20 a 30 %.

Figuras 42 y 43. Equipo de aireación de 30 rpm.

Figura 44. Equipo de aireación de 60 rpm.

Figura 45. Equipo Soxhet

Figura 46. Diez gramos de muestra envuelta en papel filtro.

Figuras 47 y 48. Extracto de borras de hidrocarburos y de Mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figuras 49 y 50. Sulfato de Sodio en vaso de precipitado y equipo de vacío.

Figuras 51 y 52. Filtración de extracto de borras de hidrocarburos y de mezcla por medio de Sulfato de Sodio.

Figuras 53 y 54. Baño María de filtraciones de extracto de borra de hidrocarburo y de mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figuras 55 y 56. Silica Gel añadido al contenido de aceites y grasas generados de las borras de hidrocarburos y de la mezcla.

Figuras 57, 58 y 59. Aceites y grasas, Sílica Gel y Hexano.

Figuras 60 y 61. Baño María de las escencias de aceites y grasas, Sílica Gel y Hexano.

Figuras 62 y 63. Muestra de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figuras 64 y 65. Muestra de Mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada) y agua destilada, y en el agitador.

Figuras 66 y 67. Filtración de la sustancia y potenciómetro.

Figuras 68 y 69. Medición de la Temperatura en la muestra de borras de hidrocarburos y de la mezcla (borras de hidrocarburos, tierra agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figura 70. Muestra de borras de hidrocarburos.

Figura 71. Medición visual de agua y sedimentos de las borras de hidrocarburos.

Figura 72. Cantidad de TPH en la borra de hidrocarburos.

Figura 73. Resultados de pH, temperatura, humedad, agua y sedimentos en la borra de hidrocarburos.

Figura 74. Características de la tierra agrícola de Chorrillos – Lima.

Figura 75. Características de la arena fina de playa no salinizada proveniente de Lurín.

Figura 76. Cantidad de TPH en la Mezcla (borras de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figura 77. Resultados de pH, temperatura, humedad, agua y sedimentos en la Mezcla 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (burras de hidrocarburos, suelo agrícola y arena fina de playa no salinizada).

Figura 78. Tendencia del TPH en las mezclas de los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm.

Figura 79. Tendencia de las Variables Intervinientes en las mezclas de los Sistemas de Aireación de 30 y 60 rpm.

Figura 80. Temperatura promedio en el periodo del 03.Mar al 16.May.2011.

Figura 81. Velocidad Media del Viento en el periodo del 03.Mar al 16.May.2011.

Figura 82. Humedad Ambiental durante el periodo del 03.Mar al 16.May.2011.

ABREVIATURAS

- **API.** Instituto Americano del Petróleo.
- **APHA 4500- H+.** Métodos estándar para el examen de agua y aguas Residuales.
- **ARPL PEX.** ARPL Tecnología Industrial S.A.
- **ASTM D95.** Método de prueba para el Agua en productos derivados del petróleo y materiales bituminosos por destilación de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales..
- **ASTM D473.** Método de prueba para Sedimentos en Crudos y combustibles por el método de extracción de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- **CERTIPETRO.** Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros, Gas Natural y Derivados.
- **EPA.** Agencia de Protección Ambiental.
- **EPA 1664.** Método Analítico para determinar N-Hexano material extraíble (HEM, aceite y grasa) y Sílica Gel Tratada N-Hexano material extraíble

(SGT-HEM; material no polar) por Extracción y Gravimetría, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

- **EPA 9060.** Método para determinar el Carbono Orgánico Total en el Suelo y Residuos, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- **EPA 9045.** Método para determinar pH en el Suelo y Residuos, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- **HAPs.** Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos.
- **NTP 339.152:2002.** Norma Técnica Peruana que Estandariza el Método de Ensayo Normalizado para la determinación del Contenido de Sales Solubles en Suelos y Aguas Subterráneas.
- **SM 4500 P mod.** Método Estándar para determinar fósforo.
- **PETROPERU.** Petróleos del Perú.
- **PVC.** Policloruro de Vinilo.
- **Ppm.** Partes por millón.
- **TPH.** Hidrocarburos Totales de Petróleo.
- **UNAM.** Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **EPA.** Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- **INDECOPI.** Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.