



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Efecto del compost de cáscara de *Citrus limon* sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara”

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

AUTOR:

TAMAYO RODRIGUEZ LORENZ NICOLTH

ASESOR:

ING. QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2016

Jurado Evaluador

Ing. Medardo Quezada Alvarez

Ing. Misael Villacorta Gonzalez

Ing. Walter Moreno Eustaquio

Dedicatoria

Dedico el fruto de mi esfuerzo a mis padres Jorge Tamayo y Edith Rodriguez, quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, a ellos por ser el soporte incondicional en todo ámbito de mi vida, quienes son mi mayor motivación para ser mejor cada día. Del mismo modo, esta investigación está dedicada a mis hermanos, ángeles que dan luz a mi vida y desde el cielo guían mi camino.

Lorenz Tamayo

Agradecimiento

En primera instancia agradecer a Dios por permitirme llegar hasta donde estoy.

A mis padres, por ser mi soporte constante, por estar a mi lado en los mejores momentos y en los más difíciles.

A la familia de Refinería Talara – Petroperú, por ser parte fundamental de mi formación como profesional y por haberme brindado su apoyo para realizar la tesis, en especial, agradecer a mis amigos y futuros colegas Julio Medina Tapia y Fiorella Terreros Quinteros, quienes me brindaron las pautas y lineamientos básicos para encaminar mi investigación.

Agradecer también al Blgo. Carlos Ganoza y al Ing. Carlos Sánchez, quienes desinteresadamente orientaron mi investigación. A mi asesor por darle seguimiento a mi trabajo. También a la Universidad César Vallejo, por el apoyo logístico, especialmente a los encargados de los laboratorios Oswaldo Flores y Luis Cruz.

En general agradecer a todas aquellas personas que en algún momento me dieron recomendaciones, consejos, palabras de aliento y apoyo moral.

Declaración De Autenticidad

Yo, TAMAYO RODRIGUEZ, Lorenz Nicolth con DNI 73093279, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro también abajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Diciembre 2016

TAMAYO RODRIGUEZ, Lorenz Nicolth

Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Efecto del compost de cáscara de *Citrus limon* sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara”

En la primera parte del presente, se hace introducción al tema, donde se habla de la realidad problemática observada por la autora, se exhibe la recopilación de información proveniente de diversas fuentes como investigaciones previas, libros, reglamentos, normativa legal, los cuales fueron necesarios para realizar una comparación final con el trabajo realizado.

Se formuló el problema de investigación y este fue debidamente justificado, rescatando la remediación de un recurso natural, empleando para su tratamiento un residuo domiciliario (restos de cáscara de limón), en base a ello se plantea la hipótesis de que estos restos degradan significativamente los hidrocarburos totales de petróleo presentes en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara en función a la variabilidad de cantidad de compost y tiempo de aplicación del mismo.

Posteriormente se muestra la metodología empleada para la realización de la investigación.

Finalmente se demostró que el compost de cáscara de *Citrus limón* tiene un efecto positivo en la degradación de hidrocarburos totales de petróleo presentes en los suelos evaluados.

Índice

Resumen.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Trabajos previos.....	3
1.1. Teorías relacionadas al tema.....	7
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación del estudio	12
1.4. Hipótesis	14
1.5. Objetivos.....	14
II. MÉTODO.....	15
2.1. Diseño de Investigación	15
2.2. Variables, Operacionalización	16
2.3. Población y Muestra	17
2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	17
2.5. Métodos de Análisis de datos.....	17
2.5.1. Prueba de confiabilidad de método	17
2.5.2. Pre-tratamiento del suelo contaminado con hidrocarburos	18
2.5.3. Compost de cáscara de citrus limón.	18
2.5.4. Tratamiento del suelo contaminado	18
2.5.5. Análisis de muestras.....	19
2.5.6. Análisis de resultados.....	19
2.6. Aspectos Éticos.....	19
III. Resultados	20
IV. Discusiones.....	26
V. Conclusiones	29
VI. Recomendaciones.....	30
VII. Referencias	31
Anexos	34

Índice de Cuadros

Cuadro N° 1 Operacionalización de Variables	16
---	----

Índice de Tablas

Tabla N° 1 Clasificación Taxonómica del limón	7
Tabla N° 2 Sub variables de la variable independiente	15
Tabla N° 3 Combinaciones por número de repeticiones de tratamiento.....	15
Tabla N° 4 Caracterización fisicoquímica y textural del suelo	20
Tabla N° 5 Concentraciones iniciales de TPH.....	20
Tabla N° 6 Caracterización Microbiológica del compost.	21
Tabla N° 7 Resultados para la Prueba de confiabilidad del método aplicado.....	22
Tabla N° 8 Eficiencia de la Biodegradación de TPH.....	23
Tabla N° 9 Análisis de varianza ANOVA.....	24
Tabla N° 10 Prueba Post Hoc para hallar el mejor tratamiento en base a la variable Tiempo	24
Tabla N° 11 Prueba Post Hoc para hallar mejor tratamiento en base a la variable Cantidad.....	25

Índice de Gráficos

Gráfico N° 1 Concentraciones de TPH en función al tiempo y cantidad de compost aplicado.....	25
---	----

Índice de Ilustraciones

Ilustración N° 1 Observación microscópica de <i>Aspergillus</i> sp	21
Ilustración N° 2 Observación microscópica de <i>Penicillium</i> sp.....	22

Resumen

La presente investigación se realizó con la finalidad de desarrollar una técnica de tratamiento para la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara – Petróleos del Perú PETROPERÚ S.A. mediante el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, la cáscara de *Citrus limón* (nombre común: limón) como materia prima para la elaboración de compost, empleado como tratamiento. El diseño que se aplicó en la investigación fue un diseño experimental unifactorial, la muestra fue de 09 kg de suelo contaminado con hidrocarburo proveniente de Refinería Talara, el método de procesamiento y análisis de datos para probar las hipótesis fue el análisis de varianza ANOVA. La determinación de la concentración inicial y final de TPH se realizó mediante la aplicación del método de reflujo con equipo soxhlet y cuantificación por el método gravimétrico. En conclusión, el compost de cáscara de *Citrus limón*, tiene un efecto positivo en la degradación de hidrocarburos totales de petróleo presentes en dichos suelos.

Palabras clave: Suelo contaminado con Hidrocarburo, Compost, Refinería, Degradación, TPH, Tiempo, Cantidad.

Abstract

This research was carried out with the aim of developing a treatment technique for the degradation of total petroleum hydrocarbons in contaminated soils from Refinería Talara - petróleos del Perú PETROPERÚ S.A., through the use of organic solid waste, CITRUS LIMON peel (common name: limón) as raw material for composting employed as treatment.

The design applied in the research was a unifactorial experimental design, the sample was of 09 kg of soil contaminated with hydrocarbon from Refinería Talara, the method of processing and data analysis to test the hypothesis was the analysis of variance ANOVA.

The determination of the reflux method with soxhlet equipment and quantification by the gravimetric method. In conclusion, citrus LIMON shell compost has a positive effect on the degradation of total petroleum hydrocarbons present in such soils.

Keywords: Soil contaminated with Hydrocarbon, Compost, Refinery, Degradation, TPH, Time, Quantity.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

“La contaminación por hidrocarburos del petróleo es una problemática de carácter mundial y amplia distribución geográfica (...)” Narváez S.; Gomez, M.; Martinez, M. Colombia, 2008 citado por Yovera Franco, Perú, 2014

En el Perú se registran derrames de petróleo desde 1978, uno de ellos fue el producido en el oleoducto marino de Talara, estando entre los últimos el ocurrido en el año 2000 en el río Marañón que afectó la reserva de Pacaya – Samiria y el producido el 30 de enero del 2008 en el que, debido a una explosión producida en un banco carguero, se derramaron frente al mar de Tumbes 1300 barriles de crudo de petróleo. (Yovera G. Franco, 2014, p.3). Sin dejar de lado los derrames ocurridos en el presente año, a fines de enero e inicios de febrero en el tramo II del Oleoducto Norperuano, en el departamento de Amazonas de 2 mil barriles de petróleo aproximadamente, el cual llegó hasta las aguas de la quebrada de Inayo, que se conecta con el río Chiriaco y al río Marañón y el segundo derrame en el Ramal Norte del Oleoducto Norperuano, en el centro poblado de Mayuriaga, en Loreto de al menos mil barriles de petróleo que se vertieron en la zona durante el derrame, afectando al río Mayuriaga, y al río Morona directamente. Asimismo el caso del derrame de doscientos barriles de petróleo del lote 8.

Los hidrocarburos son necesarios para el desarrollo de las actividades cotidianas ya que son empleados en las industrias mediante la aplicación de distintos procesos de transformación (refinación), donde se pone a disposición del consumidor una amplia gama de productos energéticos, que son combustibles específicos para transporte, industrias, agricultura, generación de

corriente eléctrica y uso doméstico; así como productos especiales, tales como lubricantes, asfaltos, grasas para vehículos y productos de uso industrial. Sin duda, la mayor demanda de hidrocarburos se da para la fabricación de los combustibles que usamos a diario en nuestros hogares, en nuestros automóviles y en las industrias.

Por otro lado, la Industria Petroquímica hace uso de los elementos que se encuentran presentes en los hidrocarburos produciendo compuestos más elaborados que sirven de materia prima para las demás industrias. Estos productos petroquímicos dan vida a muchos productos de uso difundido en el mundo actual: plásticos, acrílicos, nylon, fibras sintéticas, guantes, pinturas, envases diversos, detergentes, cosméticos, insecticidas, adhesivos, colorantes, refrigerantes fertilizantes, llantas, etc. Pero para llegar a estos productos finales deben desarrollarse diversas etapas desde extracción, refinación, transporte y comercialización del crudo de petróleo, procesos dentro de los cuales se genera derrames o fugas a causa de incidentes técnicos y operacionales, los cuales causan gran impacto ambiental, dejando muchas veces miles de hectáreas afectadas. Estos daños muchas veces son irreparables pues los derrames causan grandes consecuencias en los ecosistemas, afectando especies de flora, fauna y recursos como suelo y agua.

Comúnmente las grandes empresas de este rubro generan al año miles de toneladas de tierra contaminada con hidrocarburo, que siguiendo los protocolos establecidos según sus propios sistemas de gestión, proceden con trasladar los residuos mediante una EPS-RS autorizada y derivarlos a rellenos de seguridad como destino de disposición final, claramente perdiendo grandes cantidades del recurso suelo.

Petoperú confinó 46 630, 9 m³ de residuos sólidos peligrosos en el 2015, entre ellos borra oleaginosa, tierra con aceite, catalizador gastado, asbesto, entre otros.

Actualmente existen diversos estudios y técnicas para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, tratamientos Ex situ como tecnologías térmicas (Desorción térmica, incineración), físico químicas (Extracción con Disolventes, lavado, oxidación, Deshalogenación química, solidificación), Biológicas (Biopilas, biodegradación) y dentro de los tratamientos in situ se encuentran los fisicoquímicos (Extracción por vapor, lavado, Solidificación, Electrorecuperación) y biológicas (Biorremediación y Fitorremediación) (Alonso Raquel, 2012, p.21). Sin embargo, muchas de estas tecnologías suelen ser costosas y demandan mucho tiempo y espacio para su realización. Por otro lado están también las técnicas biológicas, dentro de las técnicas de remediación se encuentra la destrucción de los contaminantes, extracción o separación, aislamiento o inmovilización del contaminante, así mismo dentro de los tratamientos biológicos más empleados se encuentran el Landfarming, en campo abierto; compostaje aerobio y anaerobio; pila aireada, bioventeo y fitorremediación. Asociadas a ellos se encuentran las estrategias operativas que aceleran el proceso de biorremediación como bioestimulación y bioaumentación.

Existen en Perú 7 refinerías actualmente: Refinería La Pampilla de Repsol; Refinería Talara, Ref. El Milagro, Ref. Pucallpa, Ref Iquitos, Ref Conchán, pertenecientes a Petróleos del Perú – Petroperú S.A. y refinería Shiviyaqu de Pluspetrol. (Minem, 2001)

1.2. Trabajos previos

Torres D. Katerine y Zuluaga M. Tatianan (Medellín 2009) en su tesis “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos” concluye en que la contaminación de suelos por productos, compuestos o desechos orgánicos de la industria petrolera pueden ser tratados y recuperados ecológicamente con la

biorremediación. Así mismo podría indicarse que en suelos de textura contrastantes como los arcillosos y arenosos, deben emplearse acondicionadores orgánicos que permitan mejorar la estructura de la mezcla para favorecer así la biorremediación. Tanto los tratamientos ex-situ como in-situ son una buena alternativa para conseguir degradar el contaminante, siendo los tratamiento ex-situ los que mejores resultados presentan, ya que las variables pueden ser mejor controladas, es un tratamiento costoso a causa del transporte del terreno contaminado a la zona de tratamiento. El tratamiento in situ es el más recomendado para suelos permeables cuando la contaminación afecta a los horizontes subsuperficiales. En cualquier tratamiento de biorremediación la velocidad de descomposición por los organismos va a depender de su concentración, de determinadas características del suelo (disponibilidades de oxígeno y de nutrientes, pH, humedad y temperatura) y de la estabilidad del contaminante. Para definir el tratamiento más apropiado es necesario un estudio previo de las características edáficas del suelo y el nivel de contaminación que presenta, con el fin recuperar sus características biológicas y morfológicas.

Arcos F. Jonathan en su tesis “Remediación de lodos aceitosos de la Refinería estatal de Esmeraldas mediante compostaje, empleando residuos domésticos en calidad de fuente de nutrientes” concluye en que la biorremediación de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos generados en la refinería estatal de Esmeraldas, es factible mediante compostaje doméstico, empleando como fuente de nutrientes residuos orgánicos y sepas microbianas autóctonas.

Vivanco Y. Luis en su tesis “Degradación de petróleo en suelos contaminados con Borra de la Refinería Talara utilizando microorganismos autóctonos y compost” teniendo como objetivo

general determinar la eficiencia de degradación del Petróleo de suelo contaminado con borra de la Refinería Talara utilizando un consorcio microbiano nativo y compost llevado a cabo con suelo contaminado con borra procedente del Relleno de Seguridad “Milla Seis” empleando la metodología de reactivación de microorganismos nativos y aplicación de compost concluye en que hubo biodegradación del petróleo en suelo contaminado con borra de la Refinería Talara utilizando compost y un consorcio microbiano autóctono, siendo un proceso de biorremediación in situ, donde obtuvo como resultado que se logra disminuir la concentración de hidrocarburos en un 70,16% en un periodo de 42 días y que la degradación de hidrocarburos totales del suelo contaminado con borra de dicha refinería utilizando compost maduro fue la mejor alternativa para la degradación de tierra con hidrocarburos.

Yovera G. Franco, en su tesis “Aislamiento y selección de bacterias que degradan el petróleo de un suelo contaminado con residuos petroleros de la Refinería Talara – Perú, 2013” con el objetivo de aislar bacterias que degradan el petróleo de un suelo contaminado con residuos petroleros de la planta refinadora de Talara, empleando la metodología de degradación de hidrocarburos totales de petróleo comparando promedios de degradación de diferentes consorcios microbianos concluye en que los microorganismos como los *pseudomonas* son los que presentan mayor índice de degradación de hidrocarburos.

Medina Jhonny en su investigación “Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcon” donde el objetivo de la investigación fue estudiar la biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcon. Para esto

se tomaron muestras en un área contaminada por un derrame de crudo y se colocaron en biorreactores con aporte de los nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos. En los suelos contaminados se aislaron e identificaron tres especies autóctonas de hongos del género *Aspergillus*, como lo son: *Aspergillus Niger*, *Aspergillus Flavus*, *Aspergillus Terreus*. La concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) se determinó por gravimetría, y para un tiempo de 30 días de tratamiento ex situ se obtuvo un valor de remoción de un 85 %. Con lo cual se corrobora la capacidad degradadora de estos microorganismos y su potencial para ser usados en procesos de remediación de suelos contaminados con petróleo.

Pernía Beatriz y otros, en su investigación “Biodiversidad y potencial hidrocarbonoclástico de hongos aislados de crudo y sus derivados: Un meta-análisis”, con el objetivo de determinar la diversidad de hongos aislados de diferentes sustratos contaminados con hidrocarburos y sus derivados, así como determinar su capacidad degradativa, realizando meta – análisis utilizando información de la base de datos científicas, tuvo como resultado que del total de hongos reportados como aislados de crudo, sus derivados, y sustratos impactados con hidrocarburos, 83% pertenecen al *Phylum Ascomycota*, 10% al *Phylum Zygomycota*, 6% al *Phylum Glomeromycota* y 1% al *Phylum Basidiomycota* y que los géneros de mayor frecuencia fueron *Penicillium* (18%), *Aspergillus* (17%) y *Fusarium* (6%). En función del porcentaje de degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), el grupo que presentó mayor degradación fue el formado por los géneros *Phanerochaete*, *Coriolus*, *Trametes*, *Pleurotus*, *Bjerkandera*, *Rhizopus*, *Emerciella* y *Aspergillus* (TPH: 52 ± 3.53) y, con respecto a las fracciones de saturados y aromáticos del crudo, los grupos formados por los géneros *Phanerochaete*, *Coriolopsis*, *Trametes*, *Pleurotus*, *Emerciella*, *Fusarium* y *Beauveria*

(74.43±3.40%) y *Trametes*, *Pleurotus*, *Fusarium* y *Corioloopsis* (97.75±2.25%), respectivamente. Así mismo, se encontraron evidencias de degradación de las fracciones de resinas y asfaltenos (10-28% y 10-40%, respectivamente) por los géneros *Aspergillus*, *Candida*, *Emericella*, *Eupenicillium*, *Fusarium*, *Graphium*, *Neosartorya*, *Paecilomyces* y *Pichia*.

1.1. Teorías relacionadas al tema

El compostaje es la mezcla de desechos acondicionado con biomasa vegetal y/o animal con el objetivo de dar estructura, porosidad al desecho facilitando la biodegradación. El proceso es aerobio para los compuestos de hidrocarburos.

El compostaje es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos hasta formar un compuesto estable, de color oscuro de textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost. El proceso puede llevarse a cabo por vías aerobias o anaerobias.

El compostaje aerobio acelera el proceso de descomposición del material orgánico y permite obtener altas temperaturas, necesario para la destrucción de patógenos, mientras que el anaerobio va siempre acompañado de malos olores que no se presentan en el primero, razón por la cual es poco común hacer compostaje. (Arcos Jonathan, 2010, p.60)

- Clasificación Taxonómica del Limón:

Tabla N° 1 Clasificación Taxonómica del limón

CLASE	<i>Magnoliopsida</i>
SUBCLASE	<i>Rosidae</i>
ORDEN	<i>Sapindales</i>
FAMILIA	<i>Rutaceae</i>
SUBFAMILIA	<i>Citroideae</i>
GÉNERO	<i>Citrus</i>
ESPECIE	<i>C. x limón</i>

Elaboración: Propia

La biorremediación surge de la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de los derrames de hidrocarburos en los diferentes ambientes (agua y suelos) usando microorganismos, plantas o enzimas, de manera estratégica con el fin de restaurar la calidad ambiental, de acuerdo con las necesidades y dimensiones del problema.

Se le conoce como biorremediación a cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para restaurar un medio ambiente alterado por contaminantes. Dentro de este marco se identifica el proceso de degradación, el cual será el que se aplicará como medio de restauración del suelo contaminado por hidrocarburos totales de petróleo en la presente investigación. Pardo, J., 2004 citado por Arcos Jonathan, Ecuador 2010.

El proceso de degradación planteado en la presente investigación mediante compost, propone el aprovechamiento de compuestos orgánicos, que a un costo reducido cumplen la misma función de restauración del suelo que las tecnologías existentes para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

La degradación microbiana constituye el principal proceso de descontaminación natural (Prince, 1993). Este proceso se puede acelerar y/o mejorar mediante la aplicación de tecnologías de biorremediación (Alexander, 1999). El crudo de petróleo se caracteriza por ser una matriz contaminante que contiene una elevada diversidad de compuestos, por lo que es un sustrato ideal para evaluar el potencial catabólico de cepas o consorcios microbianos de interés en biorremediación. (Torres Katherine y Zuluaga Tatianan, 2009, p. 23)

Dentro del ámbito de la biorremediación, se encuentra la degradación, el cual en el presente proyecto será variable de investigación. Para llevar a cabo dicha metodología se propone realizar compostaje de un cítrico (cáscara de limón), que al descomponerse crea consorcios microbianos, que según investigaciones antecedentes a esta son degradadores de las cadenas aromáticas de hidrocarburos, como lo menciona Arcos F. Jonathan en su tesis “Remediación de lodos aceitosos de la Refinería estatal de Esmeraldas mediante compostaje, empleando residuos domésticos en calidad de fuente de nutrientes” donde emplea compostaje de residuos de cítricos como fuentes de microorganismos, tales como *Penicillium Digitatum* y *Aspergillus Niger*, hongos que se encuentran presentes en la descomposición de cítricos como el limón.

Aspergillus niger es un hongo que produce un moho negro en vegetales -muy común en la lechuga, el tomate o la acelga y limón-. Es una de las especies más corrientes del género *Aspergillus*.

El *Aspergillus* es un género de alrededor de 200 hongos. Puede existir en dos formas básicas: levaduras e hifas. Es filamentoso (compuesto de cadenas de células, llamadas hifas, el tipo de hongos opuesto a las levaduras, que se componen de una sola célula redonda).

En 1729 los catalogó por primera vez el biólogo italiano Micheli. Y su hábitat natural es el heno y el compostaje.

Penicillium digitatum es un hongo mesófilo del género *Penicillium* encontrado en el suelo de las zonas productoras de los cítricos. Es la mayor fuente de decaimiento de las frutas en épocas de post-cosecha y es el responsable de las enfermedades de los cítricos conocido como putrefacción verde. En la naturaleza, este hongo necrotrófico patógeno hiere a la superficie de los cítricos

creciendo en forma de filamentos y se reproduce asexualmente a través de la producción de conidias. Sin embargo, *P. digitatum* también se puede cultivar en condiciones ambientales en el laboratorio.

Los hidrocarburos totales de petróleo (abreviados TPH en inglés) se usan para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio.

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales.

La composición elemental de un crudo está condicionada por la predominancia de los compuestos tipo hidrocarburo:

84-87% de C, 11-14% de H, de 0-8% de S, y de 0-4% de O y N y metales como el níquel y el vanadio (Clark y Brown 1977; Howe-Grant, 1996).

El crudo de petróleo contiene una mezcla muy compleja de hidrocarburos aromáticos. Esta fracción la componen moléculas que contienen uno o varios anillos bencénicos en su estructura. Así encontramos hidrocarburos monoaromáticos (un anillo bencénico), diaromáticos (2 anillos bencénicos) y poliaromáticos (HAPs, con más de dos anillos bencénicos).

Para comprender la naturaleza química de los diferentes derivados del petróleo que potencialmente pueden ser contaminantes en el medio ambiente, hay que entender el proceso de refinado del crudo utilizado para la obtención de estos productos petrolíferos.

El refinado pasa por un proceso de destilación, con la finalidad de eliminar el color y olor, así como también, los compuestos del azufre. Se destila a temperaturas crecientes obteniendo 4 fracciones principales: gasolina, queroseno, destilados medios (querosenos, gasoil, aceites lubricantes) y un residuo. Este residuo se destila al vacío obteniéndose otros aceites lubricantes (más pesados), ceras y parafinas y betumes asfálticos (alquitranes)

Los Hidrocarburos son compuestos orgánicos más o menos complejos de carbono e hidrógeno, mezclados en proporciones diversas entre si junto con otros elementos químicos. (Cilos José, 2008, p.27)

Clasificación de los Hidrocarburos

- Alifáticos:
 - ✓ Acíclicos: Alquenos y Alquinos
 - ✓ Alicíclicos: Cicloalcanos, cicloalquenos, cicloalquinos
- Aromáticos
 - ✓ Monocíclicos
 - ✓ Policíclicos: Con núcleos aislados y con nucleos condensados. (Soto José, 2003, p. 89)

Fracción de hidrocarburos F1 o hidrocarburos fracción ligera:

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10). Los hidrocarburos fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

Fracción de hidrocarburos F2 o hidrocarburos fracción media:

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y

veintiocho átomos de carbono (C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

Fracción de hidrocarburos F3 o hidrocarburos fracción pesada:

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomos de carbono (C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, combustóleo, parafinas, petrolatos, aceites derivados del petróleo. (MINAM, 2013)

Los derrames de hidrocarburo sobre el suelo causan daños impactos sobre el suelo, dañando sus propiedades físicas como estructura y potencial hídrico así como promueve el aumento de la retención del agua en la capa superficial; también afecta a sus propiedades químicas como aumento de carbono orgánico, disminución del pH, aumento de manganeso, hierro intercambiable y fósforo disponible.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del compost de cáscara de *Citrus limon* sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara?

1.3. Justificación del estudio

La Refinería Talara se encuentra ubicada en Talara, región Piura – Perú, la cual es una sede de Petróleos del Perú – Petroperú S.A. donde se desarrolla el proceso de refinación de crudo para su posterior comercialización, dentro de sus actividades y operaciones, son frecuentes los incidentes como derrames en el suelo, el cual comúnmente es retirado y trasladado con destino final al relleno de seguridad Milla Seis donde es confinado como residuo peligroso.

La realización de este proyecto es de relevancia social ya que los incidentes ambientales de derrames de hidrocarburos en los suelos afectan a población aledaña al área dañada, por lo que es importante mitigar la problemática que conlleva una situación como tal. Por ser de interés local y nacional

La metodología propuesta es factible de desarrollar, ya que no requiere de gran inversión en tecnología, y de interés científico por la doble finalidad que posee, la de remediar suelos contaminados y la de reaprovechar residuos orgánicos.

En el norte del Perú, la gastronomía está basada en platos marinos, para los cuales, uno de los ingredientes fundamentales es el limón, el cual abunda como deshecho orgánico en restaurantes, y como residuo domiciliario, cítrico que por sus características y componentes puede ser aprovechado para el proceso de degradación mediante el compostaje. Según la capacidad de remediación y eficiencia, este proceso puede dar un aporte a las industrias petroleras, ya que mejorará su desempeño ambiental y sobre todo porque el recurso suelo podría ser utilizado nuevamente con otro fin.

Actualmente se vienen desarrollando diversos proyectos de biorremediación, sin embargo en el Perú no son tomados en cuenta y tampoco implementados en las grandes empresas que son quienes más lo necesitan a pesar de ser tratamientos que no requieren grandes inversiones, muchos de estos proyectos fallan debido a que son evaluados en un área de laboratorio donde pueden controlar las condiciones ambientales y manipular a los microorganismos, sin embargo cuando estos son llevados a campo fracasan por no poder controlar estas mismas. Es por ello que este proyecto es realizado de manera espontánea, es decir no se ha controlado ninguna condición ambiental ni manipulado a los microorganismos, se ha dejado actuar de manera natural, tal como se haría en campo.

1.4. Hipótesis

El compost de cáscara de *Citrus limon* tiene un efecto positivo en la degradación de hidrocarburos totales de petróleo, favoreciendo el proceso de biorremediación del suelo procedente de Refinería Talara.

1.5. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto del compost de cáscara de *Citrus limon* sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar físicamente una muestra real y representativa de suelo contaminado con TPH proveniente de Refinería Talara y determinar su concentración inicial para ser comparada con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes.
- Elaborar compost de cáscara de *Citrus limon* variando la cantidad (g/Kg) y tiempo de aplicación (Días) como tratamiento de suelos contaminados con TPH.
- Determinar el mejor tratamiento de en función al porcentaje de eficiencia de degradación de TPH.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de Investigación

Esta investigación emplea como diseño experimental el diseño factorial, de modelo lineal univariado, donde se manipularan las variables con la finalidad de analizar la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. (Ver Anexo N° 1)

Tabla N° 2 Sub variables de la variable independiente

SUBVARIABLES	T1	T2	T3	TOTAL COMBINACIONES
C1	C1T1	C1T2	C1T3	3 (C1)
C2	C2T1	C2T2	C2T3	3 (C2)
C3	C3T1	C3T2	C3T3	3 (C3)
TOTAL COMBINADO	3 (T1)	3 (T2)	3 (T3)	3 X 3

Fuente y Elaboración: Propia

Tabla N° 3 Combinaciones por número de repeticiones de tratamiento

	C1T1	C1T2	C1T3	C2T1	C2T2	C2T3	C3T1	C3T2	C3T3	COMB
M1	C1T1M1	C1T2M1	C1T3M1	C2T1M1	C2T2M1	C2T3M1	C3T1M1	C3T2M1	C3T3M1	9 (M1)
M2	C1T1M2	C1T2M2	C1T3M2	C2T1M2	C2T2M2	C2T3M2	C3T1M2	C3T2M2	C3T3M2	9 (M2)
M3	C1T1M3	C1T2M3	C1T3M3	C2T1M3	C2T2M3	C2T3M3	C3T1M3	C3T2M3	C3T3M3	9 (M3)
COMB	3 (C1T1)	3 (C1T2)	3 (C1T3)	3 (C2T1)	3 (C2T2)	3 (C2T3)	3 (C3T1)	3 (C3T2)	3 (C3T3)	3 X 9

Fuente y Elaboración: Propia

DONDE:

C: Cantidad de compost de cáscara de *Citrus limón* medido en gramos.

C1: Cantidad 1: 0 gr (Grupo Control)

C2: Cantidad 2: 100 gr

C3: Cantidad 3: 200 gr

T: Tiempo de degradación de TPH medido en días.

T1: Tiempo 1: 0 días

T2: Tiempo 2: 25 días

T3: Tiempo 3: 50 días

M: Muestra: 3 muestras de cada tratamiento

A partir de ello se obtiene 27 análisis de concentración de TPH en suelos contaminados.

2.2. Variables, Operacionalización

- ✓ Variable Dependiente: Degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo
- ✓ Variable Independiente: Compost de Cáscara de *Citrus limón*

Cuadro N° 1 Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Definición Operacional	Indicadores	Escala
Degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo en suelo contaminado	El término biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inoocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de la utilización de los contaminantes como fuente de alimento y energía. Para que esto ocurra, es necesario favorecer las condiciones para el crecimiento y la biodegradación (Van Deuren y col., 1997).	Concentraciones de TPH	Es el contenido de cadenas aromáticas de hidrocarburos totales de petróleo presente en el suelo contaminado	ppm TPH	De razón
Compost de cáscara de <i>citrus limon</i>	El composteo es un proceso biológico controlado, por el cual los contaminantes orgánicos pueden convertirse en subproductos inoocuos estables. El material contaminado se mezcla en pilas, con sustancias orgánicas sólidas biodegradables, como paja, aserrín, estiércol y desechos agrícolas. Estos materiales son adicionados como agente de volumen, para mejorar el balance de nutrientes (C/N) para la actividad microbiana, y para asegurar la generación del calor necesario para el proceso. Los sistemas de composteo incluyen tambores rotatorios, tanques circulares, recipientes abiertos y biopilas (Alexander, 1994; Eweis y col., 1998; Semple y col., 2001).	Cantidad de compost	La dosis de compost, en gramos aplicada a la muestra de suelo determinada por 100 y 200 gr	g de compost	De razón
		Tiempo de Degradación	Está determinado por los días que tarda en dar un resultado considerable, medido en tres tiempos: 0, 25 y 50 días.	Días	De razón

Fuente y Elaboración Propia

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población: Total de tierra contaminada con Hidrocarburo de la Refinería Talara – Petroperú, a lo largo de los años. (Ver Anexo N° 2)

2.3.2. Muestra: 09 kg de tierra contaminada con hidrocarburo

2.3.3. Unidad de Análisis: 10 g de suelo contaminado con hidrocarburo.

2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Para la recolección de datos, en este caso muestras de suelo contaminado con hidrocarburo (09 kg) se empleó la Guía para muestreo de suelos contaminados en el marco de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. D.S. N° 002-2013-MINAM. Instrumento validado y respaldado legalmente. (Ver Anexo N° 3 y N° 4)

2.5. Métodos de Análisis de datos

2.5.1. Prueba de confiabilidad de método

Se sacó una muestra de 100 g de suelo sin contaminar propio de la localidad, en 3 puntos diferentes (100 g de cada punto) y se dividió en dos partes (50 g cada uno) en total se tuvo 6 muestras de suelo de 50 g cada una. Al primer grupo conformado por 01 muestra de 50 g de cada punto se le hizo un análisis de concentración de grasas del suelo mediante el método de reflujo con equipo Soxhlet, utilizando como disolvente CH_2Cl_2 (Diclorometano), para lo cual se empleó 10 g de muestra en 3 repeticiones para posteriormente, mediante gravimetría cuantificar los TPH y obtener la concentración en mg/kg. Del segundo grupo, conformado por la otra muestra de 50 g de cada punto, se tomó 3 sub muestras de 10 g cada una e intencionalmente se le agregó 1 g de petróleo (3.5 ml) en cada sub muestra, con estas se aplicó el mismo procedimiento descrito. Todo esto con la finalidad de comprobar que el método seleccionado para analizar la concentración de TPH es confiable, es decir que debe extraer 1g de petróleo, que se lo que se le ha agregado para concluir que la metodología aplicada es 100% confiable.

2.5.2. Pre-tratamiento del suelo contaminado con hidrocarburos

La muestra de suelo con la que se trabajó fue obtenida de la trinchera TC-02-15 del Relleno de Seguridad "Milla Seis"

- Se extendió la muestra total de suelo y se dejó por 10 días.
- De manera inicial se hizo una caracterización física del suelo: textura, pH y conductividad eléctrica.

2.5.3. Compost de cáscara de citrus limón.

- COMPOSTERO: A una tina se le hizo agujeros alrededor y en la parte inferior con un clavo caliente.
- Se seleccionó 100 limones de regular tamaño y se cortó en partes pequeñas.
- Estas partes de limón se colocaron en el compostero.
- Se dejó reposar por 30 días (Días en los cuales se estuvo observando el progreso del consorcio microbiano).
- Se obtuvo 1 kg de compost, del cual se empleó solo 900 g.
- A la comunidad microbiana, del compost elaborado, se le realizó una caracterización microbiológica básica, mediante la técnica de siembra por superficie e identificación por sistema MICROSCAN®.

2.5.4. Tratamiento del suelo contaminado

- Se colocó 1 kg de muestra en 3 recipientes descartables para el grupo control.
- En simultáneo (al pasar los 30 días, con el compost listo, con comunidad microbiana presente) se pesó 3 porciones de 100 gr y 3 porciones de 200 gr por separado, estos 6 tratamientos fueron mezclados con 1 kg de suelo cada uno, por separado hasta homogenizar la muestra.
- El tratamiento duró un periodo de 50 días, se analizó el suelo desde el inicio (0 días) para obtener una concentración inicial, punto medio (25 días) y al final (50 días) para evaluar la tasa de degradación. En cada muestreo se extrajo una alícuota de suelo de 10 gr. de cada depósito para determinar la concentración de TPH por muestra.

2.5.5. Análisis de muestras

- El método de análisis para extraer los hidrocarburos de suelos contaminados fue el método de reflujo con equipo Soxhlet, empleando como disolvente CH₂Cl₂ (diclorometano); y para la cuantificación de hidrocarburos totales de petróleo el método de gravimetría. (Ver Anexo N° 5)

2.5.6. Análisis de resultados

- Los resultados obtenidos de los métodos de extracción con Soxhlet y cuantificación por gravimetría, se emplean en la siguiente fórmula:

$$\frac{W_A \times FC}{P * FH}$$

Dónde:

W_A = Peso del extracto orgánico concentrado en mg.

P = Cantidad de suelo extraído en g.

FC = Factor de conversión para transformar a Kg de suelo seco = 1000.

FH = Factor de corrección de humedad = $1 - \frac{\%H}{100}$

%H = Porcentaje de humedad del suelo

- Para el análisis de los resultados obtenidos (Concentraciones de TPH) se hizo un análisis ANOVA así como la elaboración de gráficos que describen la tasa de degradación basado en el tiempo de degradación y la dosis de compost aplicada.

2.6. Aspectos Éticos

Las muestras, datos, resultados, fotografías y evidencias empleadas en el presente proyecto de investigación y otros aspectos relacionados con la empresa Petróleos del Perú PETROPERÚ S.A. deberán ser estrictamente reservados, dándosele uso único en esta investigación siguiendo con las políticas de la empresa. Asimismo toda información como teorías previas, y relacionadas a la investigación han sido citadas al igual que todas las fuentes bibliográficas rigiéndose a la norma ISO 690.

III. Resultados

Caracterización fisicoquímica y textural del Suelo

Una vez obtenida la muestra de suelo, según el procedimiento descrito en la guía para muestreo de suelos contaminados, se realizó la determinación de los principales parámetros a fin de determinar la caracterización física y textural del suelo, como se muestra en la tabla N° 4.

Tabla N° 4 Caracterización fisicoquímica y textural del suelo

Parámetro	M1	M2	M3	Promedio
Ph	7.68	7.63	7.66	7.66
Conductividad Eléctrica(mS)	40	40.6	40.1	40.23
Humedad %	12.58%	11.02%	12.52%	12.04%
Textura	Arenoso			
Tamaño de Partícula	Media			

Fuente y Elaboración: Propia

Según la tabla N° 4, podemos afirmar que el suelo de Refinería Talara es ligeramente básico (pH=7.66); presenta una baja conductividad eléctrica (40,23 mS) y una humedad inmersa dentro los parámetros normales (12.04%). Asimismo, la textura arenosa y tamaño medio de partícula, proporcionan una buena permeabilidad y capacidad de aireación.

Asimismo, se evaluó el nivel de contaminación de la muestra de suelo inicial para cada tratamiento, cuyos resultados se muestran en la tabla N° 5.

Tabla N° 5 Concentraciones iniciales de TPH

M1 (mg / Kg)	M2 (mg / Kg)	M3 (mg / Kg)	TPH promedio (mg / Kg)
131707.59	132321.51	131855.39	131899.60
131741.70	132287.40	131866.76	
131718.96	131855.39	131741.70	

Fuente y Elaboración: Propia

Según la tabla N° 5, podemos afirmar que la concentración de TPH en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara supera considerablemente lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental para suelos (6000 mg /Kg).

Caracterización Microbiológica del Compost

En la tabla N° 6 se muestra el estudio microbiológico del compost de *Citrus limon* obtenido mediante la técnica de siembra por superficie y su determinación por el sistema de identificación MICROSCAN®, con lo cual se logró identificar que las principales bacterias presentes en este compost fueron: *Pseudomonas* sp, *Bacillus* sp, *Enterobacter* sp. (Ver Anexo N° 6)

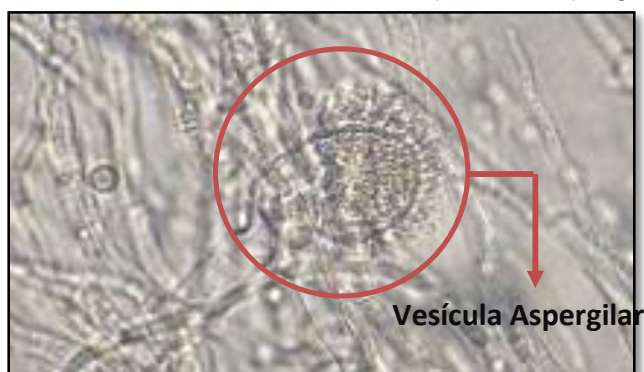
Tabla N° 6 Caracterización Microbiológica del compost.

Colonia	Oxidasa	Gram	Nitritos	Citrato	Catalasa	Voges Proskauer	Indol	Glucosa	Identificación
A	+	(-)	+	+	+	-	-	-	<i>Pseudomonas</i> sp
B	-	(+)	+	+	+	+	-	+	<i>Bacillus</i> sp
C	-	(-)	+	+	+	+	-	+	<i>Enterobacter</i> sp

Fuente y Elaboración: Propia

Asimismo, se determinó la presencia de hongos, los cuales fueron identificados por evaluación de crecimiento del micelio en Agar Saboraud con antibiótico cloranfenicol y por una observación microscópica del micelio en un preparado en fresco, tal como se muestra en la ilustración N° 1, donde podemos apreciar la vesícula Aspergilar de forma redonda con aproximadamente 60 µm de diámetro la cual da origen a fialides en toda su superficie. : (Ver Anexo N°7)

Ilustración N° 1 Observación microscópica de *Aspergillus* sp



Fuente: Propia

En la ilustración N°2 se observan las estructuras características de *Penicillium* como esporas, conidióforo y médula, con una apariencia semejante a la mano del esqueleto.

Ilustración N° 2 Observación microscópica de *Penicillium* sp



Fuente: Propia

Confiabilidad de método de análisis

Para evaluar la confiabilidad del método de análisis (extracción por sohxlet y cuantificación por gravimetría), se adicionó a una muestra de suelo en blanco, una cantidad conocida de hidrocarburo (113 688.04 mg/Kg), a fin de evaluar la eficiencia de extracción, como se muestra en la tabla N° 7. (Ver anexo N° 8)

Tabla N° 7 Resultados para la Prueba de confiabilidad del método aplicado

ANÁLISIS DE RESULTADOS	
Grasa natural del suelo (mg/Kg)	1433.73
Total extraído (mg/Kg)	111 229.85
TPH extraído (mg/Kg)	109 796.11
Total contaminado (mg/Kg)	113 688.04
Eficiencia del Método (%)	96.58

Fuente y Elaboración: Propia

Según la tabla N° 7 podemos afirmar que la eficiencia del método (96.58%) aplicado para la determinación de la concentración de TPH en suelos contaminados es aceptable.

Análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) (Ver Anexo N° 9)

Una vez demostrada la aceptabilidad de método de análisis, se procedió a evaluar la eficiencia del compost de *Citrus limon* en la biodegradación de TPH en el suelo contaminado de Refinaría de Talara, cuyos resultados se presentan en la tabla N° 8.

Tabla N° 8 Eficiencia de la Biodegradación de TPH

TRATAMIENTO	MUESTRA	CONCENTRACIÓN					PROMEDIO %E 25 Días	PROMEDIO %E 50 días	
		Tiempo 1 0 DÍAS (mg/Kg)	Tiempo 2 25 DÍAS		Tiempo 3 50 DÍAS				
			CONCENTRACIÓN TPH (mg/kg)	%E	CONCENTRACIÓN TPH (mg/kg)	%E			
Cantidad 1 0 g. de compost/kg.	M1	131707.59	131662.12	0.03	131605.28	0.08	0.04	0.09	
	M2	132321.51	132253.30	0.05	132196.45	0.09			
	M3	131855.39	131798.54	0.04	131730.33	0.09			
Cantidad 2 100 g. de compost/kg.	M1	131741.70	119292.86	9.45	101307.41	23.10	8.95	22.78	
	M2	132287.40	120304.68	9.06	102035.02	22.87			
	M3	131866.76	120861.76	8.35	102364.71	22.37			
Cantidad 3 200g. de compost/kg.	M1	131718.96	91030.01	30.89	72612.55	44.87	30.93	45.26	
	M2	131855.39	91064.12	30.94	71543.88	45.74			
	M3	131741.70	90939.06	30.97	72237.38	45.17			
Promedio de Concentración Inicial		131899.60							

Elaboración: Propia

En la tabla N° 8 se muestra el consolidado de los resultados obtenidos después de haber aplicado los tratamientos descritos en el diseño experimental, así como el porcentaje de eficiencia de degradación en cada uno de ellos basado en el tiempo y la cantidad de compost aplicada en cada tratamiento, donde la concentración más baja obtenida es 71 543. 88 mg/Kg que representa un 45.74 % de degradación en 50 días aplicando 200 g. de compost como tratamiento.

Análisis Estadístico de Resultados

Para evaluar el efecto de las variables y la interacción entre estas, se realizó un análisis de ANOVA cuyos resultados se muestran en la tabla N° 9, con las siguientes hipótesis propuestas:

H_0 : No hay diferencia en las concentraciones medias de TPH cuando se emplean diferentes cantidades de compost.

H_1 : Hay diferencia en las concentraciones medias de TPH cuando se emplean diferentes cantidades de compost.

H_0 : No hay diferencia en las concentraciones medias de TPH cuando se emplean diferentes tiempos de aplicación del compost.

H_1 : Hay diferencia en las concentraciones medias de TPH cuando se emplean diferentes tiempos de aplicación del compost.

H_0 : No hay interacción entre las diferentes cantidades de compost y tiempos de degradación en las concentraciones medias de TPH.

H_1 : Existe interacción entre las diferentes cantidades de compost y tiempos de degradación en las concentraciones medias de TPH.

Tabla N° 9 Análisis de varianza ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	GI	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	12081793566.169 ^a	8	1510224195.771	8463.171	.000
Interceptación	363761258318.295	1	363761258318.295	2038487.964	.000
TIEMPO	4073643976.842	2	2036821988.421	11414.182	.000
CANTIDAD	5130457390.312	2	2565228695.156	14375.329	.000
TIEMPO * CANTIDAD	2877692199.015	4	719423049.754	4031.587	.000
Error	3212038.906	18	178446.606		
Total	375846263923.369	27			
Total corregido	12085005605.075	26			

Elaboración: Propia

Fuente: SPSS

Del análisis ANOVA podemos afirmar, con un nivel de confianza del 95%, que se rechaza H_0 : No hay interacción entre las diferentes cantidades de compost y tiempos de degradación en las concentraciones medias de TPH; y se acepta H_1 : Existe interacción entre las diferentes cantidades de compost y tiempos de degradación en las concentraciones medias de TPH. (Ver Anexo N° 10)

Tabla N° 10 Prueba Post Hoc para hallar el mejor tratamiento en base a la variable Tiempo

	TIEMPO	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey ^{a,b}	50 DÁS	9	101959.2233		
	25 DÍAS	9		114356.2722	
	0 DÍAS	9			131899.6000
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan ^{a,b}	50 DÁS	9	101959.2233		
	25 DÍAS	9		114356.2722	
	0 DÍAS	9			131899.6000
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe ^{a,b}	50 DÁS	9	101959.2233		
	25 DÍAS	9		114356.2722	
	0 DÍAS	9			131899.6000
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Elaboración: Propia

Fuente: SPSS

El término de error es la media cuadrática (Error) = 178446,606.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

En la tabla N° 10 se realizó la prueba Post Hoc con los autores: HSD Tukey, Duncan y Scheffe, para determinar el mejor tiempo de aplicación del compost que degrada mayor cantidad de hidrocarburo, donde los tres señalan al tiempo de 50 días como el mejor de los resultados ensayados.

Tabla N° 11 Prueba Post Hoc para hallar mejor tratamiento en base a la variable Cantidad

CANTIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey ^{a,b}	200 G	9	98304.7833	
	100 G	9		118006.9222
	0 G	9		131903.3900
	Sig.		1.000	1.000
Duncan ^{a,b}	200 G	9	98304.7833	
	100 G	9		118006.9222
	0 G	9		131903.3900
	Sig.		1.000	1.000
Scheffe ^{a,b}	200 G	9	98304.7833	
	100 G	9		118006.9222
	0 G	9		131903.3900
	Sig.		1.000	1.000

Elaboración: Propia

Fuente: SPSS

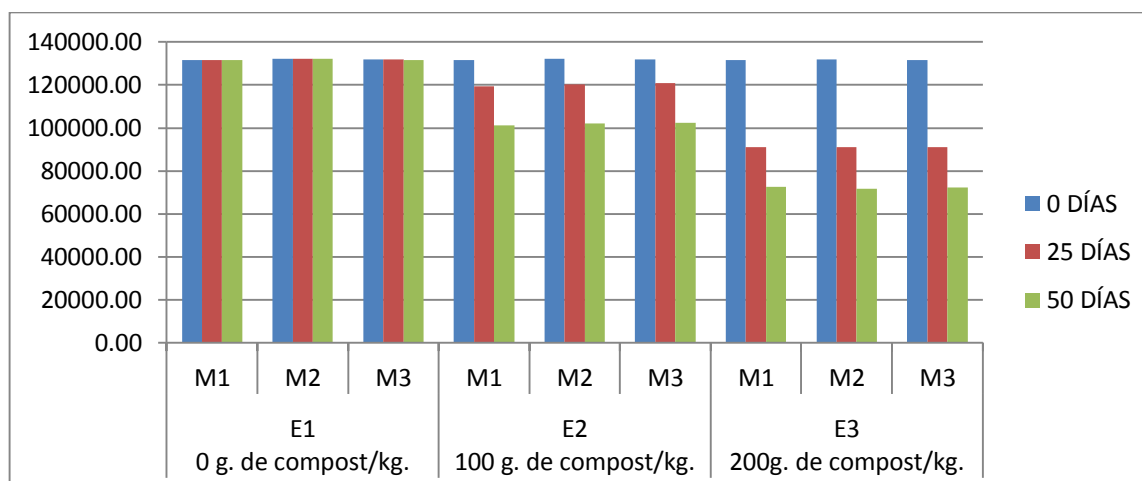
El término de error es la media cuadrática (Error) = 178446,606.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

En la tabla N° 11 se realizó la prueba Post Hoc con los autores: HSD Tukey, Duncan y Scheffe, para determinar la mejor cantidad de compost que degrada mayor cantidad de hidrocarburo, donde los tres señalan que la cantidad de 200 g de compost de *Citrus limon* como la mejor de los resultados ensayados.

Gráfico N° 1 Concentraciones de TPH en función al tiempo y cantidad de compost aplicado



Fuente y Elaboración: Propia

En el gráfico N° 1 se observa la disminución de las concentraciones de TPH (Degradación) gracias al compost aplicado en diferentes tiempos y cantidades.

IV. Discusiones

- De la caracterización física del suelo mostrada en la tabla N° 4 se puede inferir que los suelos provenientes de Refinería Talara son suelos ligeramente básicos, de pH promedio 7.66; lo cual es beneficioso para el tratamiento, resultado que coincide con el trabajo de Arcos (2010) quién en su investigación asegura que los hongos toleran un margen de pH entre 5-8; además la baja conductividad manifiesta un suelo sin problemas de sales inmerso en rangos normales de humedad, por otro lado, la textura arenosa y partícula de tamaño medio de este suelo implica que contiene alta permeabilidad y capacidad de aireación, así como baja retención de agua y presencia de nutrientes.
- Según el D.S. N° 002-2013-MINAM, los Estándares de calidad ambiental para suelo comercial, industrial y/o extractivo permite hasta 6 000 mg/Kg de fracciones de hidrocarburo F3 ($C_{28} - C_{40}$), mientras que la muestra de suelo contaminado, proveniente de Refinería Talara, posee una concentración promedio de 131 899. 60 mg/Kg. de fracciones de hidrocarburo F3 ($C_{28} - C_{40}$), lo cual pone de manifiesto un alto grado de contaminación por hidrocarburos en dicho suelo.
- La presencia de las bacterias, identificadas en el compost de *Citrus limon* aseguran la biodegradación de los TPH presentes en el suelo de refinería de Talara, pues Velasco (2004) en su trabajo describe que las bacterias tienen un crecimiento muy rápido con una mayor capacidad de adaptación a los medios contaminados, lo que incrementa la probabilidad de éxito en la biodegradación de hidrocarburos.

- Tal como Arcos (2010) describe en su tesis las cepas microbianas aisladas de compost doméstico mezclado con materia orgánica (como residuos de cítricos), en el presente trabajo se obtuvo algunos microorganismos que concuerdan con lo descrito en su investigación, además de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, se aisló también *Enterobacter* sp. De esta manera se puede evidenciar que la presencia de los microorganismos mencionados es constante en el proceso de descomposición de la materia orgánica empleada (restos de cítricos) para la elaboración del compost y que como lo menciona Yovera (2013) en su investigación, las *Pseudomonas* presentan altos índices de degradación de hidrocarburos.
- En base a los resultados obtenidos podemos afirmar que la elección de la cáscara de *Citrus limon* como materia prima para la elaboración del compost en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos fue adecuada debido a la presencia natural de esporas de *Penicillium* y *Aspergillus*, los cuales como lo menciona Medina (2014) en su investigación, actúan como agentes degradadores de hidrocarburos totales de petróleo, debido a su fácil adaptación a medios hostiles. Esto corrobora la capacidad degradadora de los microorganismos y su potencial para ser usados en procesos de remediación de suelos contaminados con petróleo.
- Los resultados mostrados en la tabla N° 7, en cuanto a la eficiencia del método de análisis, coinciden con lo mencionado en el “Manual de Técnicas de Análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados”, donde se menciona que el método de reflujó con equipo soxhlet y la cuantificación de TPH por gravimetría como el método más adecuado ya que ofrece una cuantificación gruesa que no requiere equipo sofisticado, es un procedimiento sencillo, barato y rápido, que trabaja muy bien con concentraciones mayores a 50 000 mg/kg.

- Finalmente, en la bibliografía consultada, se pudo observar que Ñúestez (2012), en su tesis, obtiene una reducción promedio del 89.88% mediante bioestimulación y 88.49% mediante bioaumentación, en un periodo de 163 días (23 semanas); de igual manera, Arcos (2010) mediante compostaje doméstico empleando como fuente de nutrientes residuos orgánicos y sepas microbianas autóctonas (*Pseudomonas* y *Rhodococcus*) presenta una efectividad de 89,74% en un periodo de 5.6 meses y 88,54% en un periodo de 15.6 meses; mientras que en el presente trabajo de investigación se logró reducir un 45.74% en un periodo de 50 días, lo que pone de manifiesto que la biorremediación de los suelos de refinería de Talara empleando compost de *Citrus limon* resultó ser adecuada y eficiente, lo cual coincide con lo propuesto por Torres (2009) quién afirma en su tesis que la contaminación de suelos por productos, compuestos o desechos orgánicos de la industria petrolera pueden ser tratados y recuperados ecológicamente con la biorremediación.

V. Conclusiones

- El compost de cáscara de *Citrus limon* tiene un efecto positivo sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara, reportando un promedio de 45.26 % de reducción de concentraciones de TPH aplicando 200 g. de compost en un periodo de 50 días.
- El suelo empleado presenta condiciones de pH, conductividad humedad y textura normales y adecuadas para realizar tratamientos de biorremediación ya que ninguno de los parámetros mencionados anteriormente influye el desarrollo de estos.
- La concentración inicial de TPH en el suelo sobrepasa en 125 899.60 mg/Kg los Estándares de Calidad Ambiental para suelos.
- Las pruebas post hoc, aplicadas a los resultados, determinaron que la interacción de subvariables que lograron la mejor degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fue la de 200 g. de compost en 50 días.
- Tanto *Aspergillus* como *Penicillium* y *Pseudomonas* poseen actividad biodegradante sobre los contaminantes hidrocarbonados.
- El método de análisis de TPH empleado es apropiado para el desarrollo de la investigación con un 96, 58% de confiabilidad.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis estadístico previo, para determinar el número de muestra y el número de repeticiones a trabajar.
- Determinar la importancia de tamizar el suelo antes de ser tratado y de la mezcla constante del compost con el suelo contaminado.
- Evaluar el tratamiento presentado en periodos de tiempo más largos.

VII. Referencias

Alonso Riesco Raquel. Proyecto de Recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Proyecto final de carrera (Ingeniero técnico industrial con especialidad en química industrial) Cerdanyola del Vallés, Junio 2012. 21-28.

Arcos Freile Jonathan. Remediación de lodos aceitosos de la Refinería Estatal de Esmeraldas mediante compostaje, empleando residuos domésticos en calidad de fuente de nutrientes. (Ingeniero Ambiental) Quito – Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. 2010

Biendía Hildebrando. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM Vol 15. (30) 123-130 Julio 2012

CILOS, José. Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos. Perú, 2008 p.27.

CROSARA, Alicia. Contaminación del suelo. 2014

Fernández Linares, Luis Carlos y otros. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México D.F 2006 15, 89-94p.

HERNANDEZ, R., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la Investigación. Ciudad de Mexico: Mc Graw Hill. 2010

Lladó Salvador. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos pesados y caracterización de comunidades microbianas implicadas. (Microbiólogo) Barcelona – España, 2012

Marving Diaz Consuegra. “Revisión de los procesos de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, aplicados en Colombia” Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá. 1999

Medina Jhonny, García Franklin, Paricaguán Belén. Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado de Facón. Revista Ingeniería UC. Vol 21. (1) 62-69 Abril 2014.

MINAM. Guía para muestreo de suelo. Lima. 2014

MINAM (Perú). D.S. N° 002-2013-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. 2013. Perú 7-39 p.

Montgomery Douglas. Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley – Mexico 2013

Ñustez Cuartas Diana Cristina. Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. Tesis (Maestría en Ecotecnología) Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, 2012.

Petróleos del Perú – PETROPERÚ S.A. Plan de Manejo de Residuos Sólidos. Planta Talara. 2016. Perú 4-5 p.

Pernía Beatriz, Demey Jhonny Rafael, Inojosa Ysvic y Naranjo Briceño Leopoldo. Biodiversidad y potencial hidrocarbonoclástico de hongos aislados de crudo y sus derivados: Un meta – análisis. Latinoam Biotecnol Amb Algal. Vol 3 (1) 1-39

SOTO, Luis. Química Orgánica. Capítulos Básicos. 2^{da} ed. España: Editorial Síntesis S.A. 2003 pp.88 – 113.

Torres Delgado Katerine, Zuluaga Montoya Tatianan. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. (Ingeniería Química) Medellín. Facultad de Minas. 2009

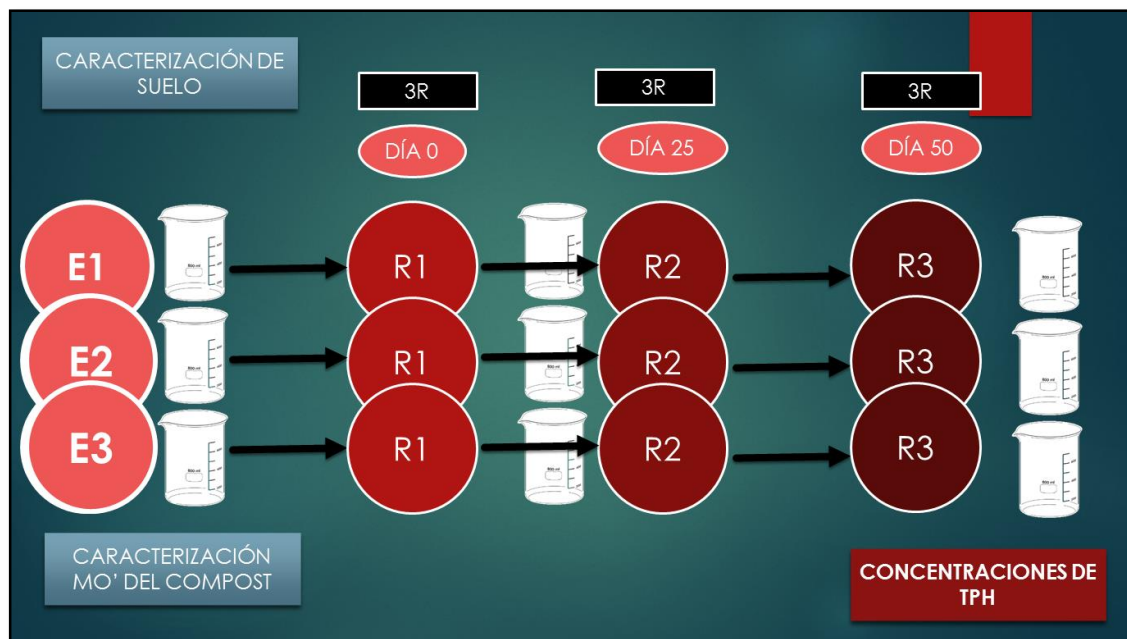
Valverde Rodríguez, Rommel. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en la Refinería La Libertad y Planta Cautivo. 2008

Vivanco Yovera Luis Segundo. Degradación de petróleo en suelos contaminados con Borra de la Refinería Talara utilizando microorganismos autóctonos y compost. Tesis (Biólogo – Microbiólogo) Trujillo, Escuela de Microbiología y Parasitología. 2013.

Yovera García Franco Renato. Aislamiento y selección de bacterias que degradan el petróleo de un suelo contaminado con residuos petroleros de la refinería Talara. Tesis (Biólogo – Microbiólogo) Trujillo, Escuela de Microbiología y Parasitología, 2014. 1, 2, 23 p.

Anexos

Anexo N° 1: Diseño Experimental



Anexo N° 2: Muestreo del suelo



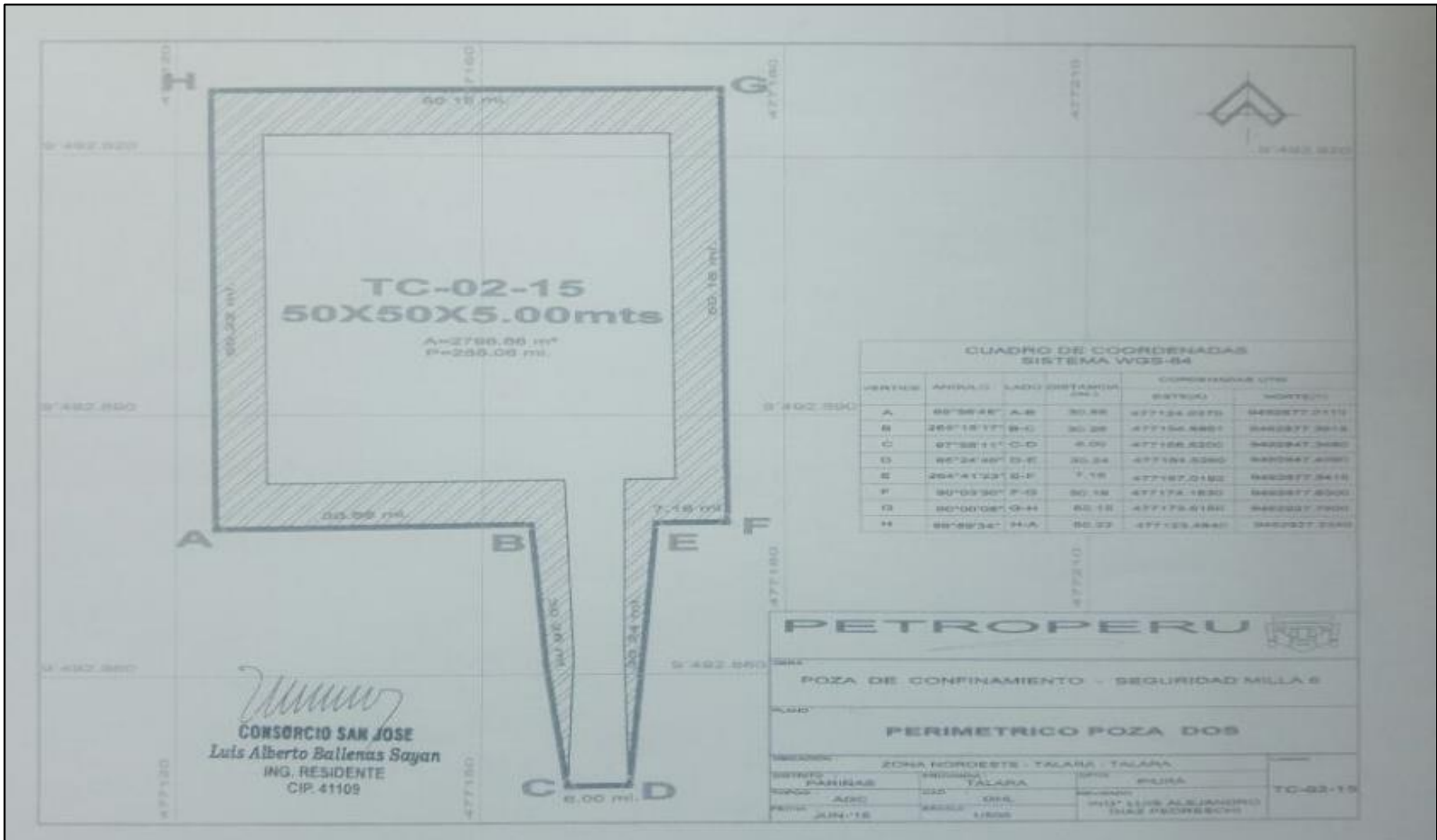
Portón de Ingreso al Relleno de Seguridad "Milla Seis"



Trinchera Confinada



Trinchera sin confinar - Suelo Contaminado con Hidrocarburos proveniente de Refinería
Talara



Poza de confinamiento de muestreo: TC – 02 – 15



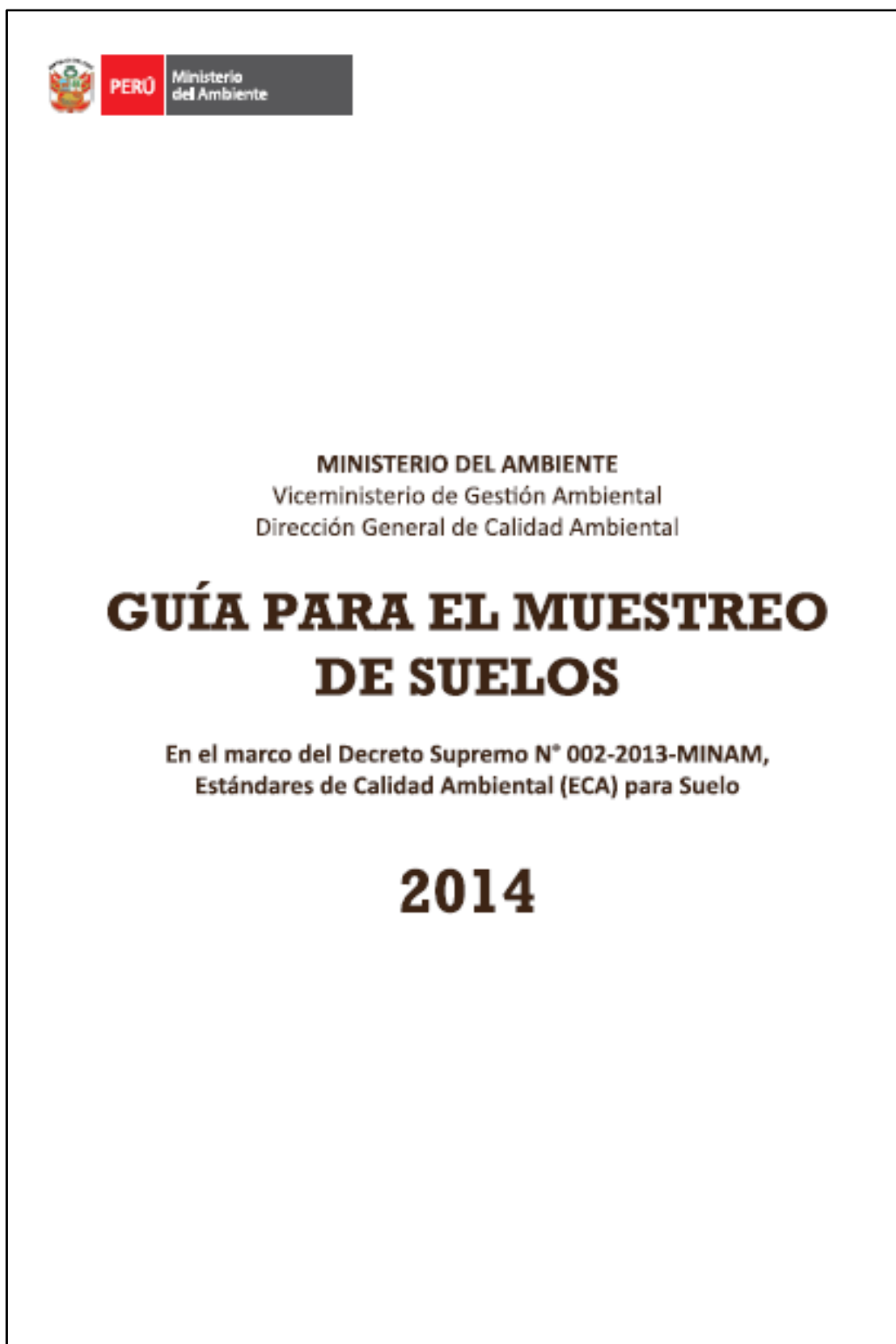
Georreferencia de la zona de muestreo

CUADRO DE COORDENADAS SISTEMA WGS-84

VERTICE	ANGULO	LADO	DISTANCIA (ml.)	CORDENADAS UTM	
				ESTE(X)	NORTE(Y)
A	89°56'48"	A-B	30.85	477124.0370	9492877.0110
B	265°15'17"	B-C	30.28	477154.8861	9492877.3918
C	97°58'11"	C-D	8.00	477168.5200	9492847.3480
D	95°24'48"	D-E	30.24	477184.5260	9492847.4090
E	264°41'23"	E-F	7.18	477187.0192	9492877.5418
F	90°03'30"	F-G	50.18	477174.1830	9492877.6300
G	90°00'08"	G-H	50.15	477173.6150	9492927.7900
H	89°59'34"	H-A	50.22	477123.4640	9492927.2240

Coordenadas de ubicación de la zona de muestreo

Anexo N° 3: Guía para muestreo de suelos contaminados – MINAM. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

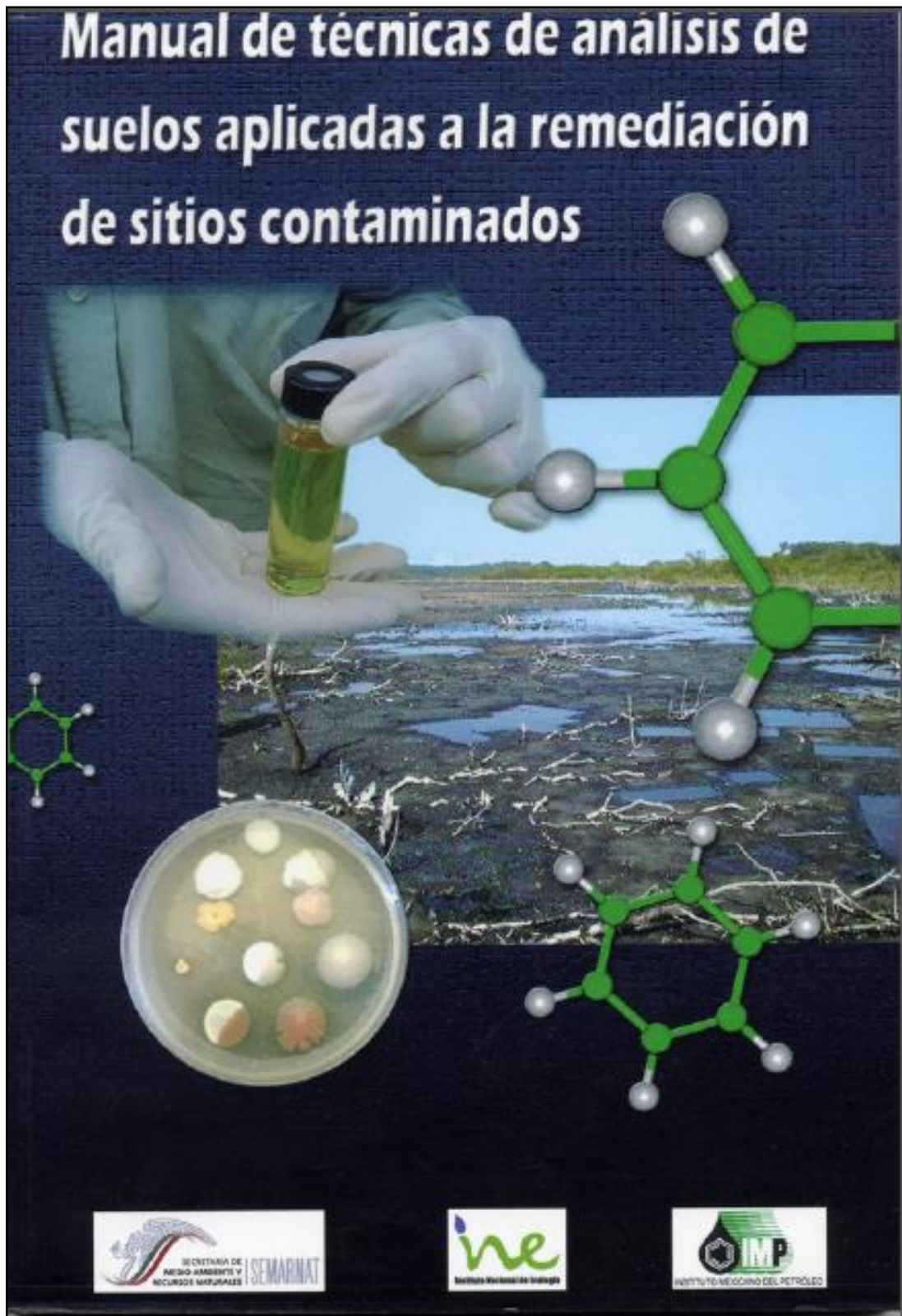


Anexo N° 4: Ficha de muestreo de suelo contaminado.

FICHA DE MUESTREO			
Datos Generales			
Nombre del sitio en estudio:	Relleno de Seguridad "Milla Seis" - Refinería Talara - Petroperú	Departamento:	Piura
Razón Social:	20230630420	Provincia:	Talara
Uso Principal:	Refinería	Dirección del Predio:	7.5 Km al este de Talara - Zona Tablazo. Sector Milla Seis, Distrito de Pariñas
Datos del punto de Muestreo			
Nombre del Punto de Muestreo	TC - 02 – 15		Operador: Lorenz Tamayo Rodriguez
Coordenadas: (UTM, WGS84)	x: 477023	y: 9492752	Descripción de la superficie: Suelo arenoso
Temperatura (°C)	32°C		Precipitación: No
Técnica de muestreo:	Sondeo Manual	Instrumentos usados:	Equipos de Protección Personal, Frascos de vidrio de boca ancha con tapa y sello de teflón
Profundidad Final:	10 cm	Napa Freática:	No
Instalación de un pozo en el agujero:	No	Relleno del agujero después del muestreo:	No
Datos de la muestra:			
Clave de la muestra:	SC-TPH-PETROPERU.M1	SC-TPH-PETROPERU.M2	SC-TPH-PETROPERU.M3
Fecha:	19/08/2016	19/08/2016	19/08/2016
Hora:	14:25	14:45	15:03
Profundidad desde:	0 cm	0 cm	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm	10 cm	10 cm
Características organolépticas			
Color:	Negro	Negro	Negro
Olor:	Hidrocarburo	Hidrocarburo	Hidrocarburo
Textura:	Arenoso	Arenoso	Arenoso
Consistencia:	Media	Media	Media
Componentes Antroponéticos	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Cantidad de muestra	1 Kg	1 Kg	1 Kg
Tipo de Muestra	Simple	Simple	Simple

Anexo N° 5: Método de Análisis de TPH

Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados



Extracto del Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados a emplear.

Método 1: Reflujo - Soxhlet

Para extraer los hidrocarburos de suelos contaminados se utiliza el método de reflujo con equipo Soxhlet, tomando como referencia los métodos D5369-93 de la ASTM (2003) y 3540C y 3541 de la US EPA (1996, 1994).

A. Fundamento

Este método consiste en extraer los hidrocarburos contenidos en el suelo, mediante la acción de un solvente orgánico volátil apropiado, que es reflujo a través de la muestra varias veces durante un tiempo determinado. El solvente es evaporado y posteriormente condensado en un refrigerante, se le hace pasar por la muestra y se le regresa al origen para ser nuevamente evaporado. La muestra sólida es mezclada con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua residual, se le coloca en un dedal o cartucho de papel o fibra de vidrio y se usa un solvente orgánico apropiado para su extracción en un equipo Soxhlet.

Mediante los reflujos del solvente y la temperatura se permite el contacto íntimo de la muestra con el solvente de extracción, de esta manera se logra la liberación de los hidrocarburos presentes en la muestra. El extracto orgánico se concentra (si es necesario) o bien se evapora para realizar el intercambio de solvente, acorde con el método de cuantificación.

B. Material y equipo

- Equipo de reflujo Soxhlet de 250 ml.
- Perlas de ebullición.
- Papel filtro.
- Balanza analítica.
- Vaso de precipitados 250 ml.
- Viales.
- Espátula.

C. Reactivos

- Diclorometano (cloruro de metileno, CH_2Cl_2) grado HPLC.

D. Procedimiento

- 1) Colocar de 5 a 10 g de suelo seco y finamente molido en un cartucho de celulosa o fibra de vidrio.
- 2) Adicionar sulfato de sodio anhidro en una relación suelo:sulfato 1:1 y mezclar.
- 3) Colocar cada cartucho conteniendo las muestras dentro de la camisa o columna extractora del equipo Soxhlet.
- 4) Adicionar 125 ± 5 ml de diclorometano en el matraz de bola y colocar suficientes perlas de ebullición para evitar la proyección del solvente al calentarse.
- 5) Ensamblar el equipo Soxhlet e iniciar calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 45°C.
- 6) Mantener el reflujo en estas condiciones durante 8 horas, de tal manera que se efectúen entre 6 y 8 reflujo por hora, lo que permitirá la liberación de los analitos.
- 7) Después de 8 horas, el extracto orgánico contendrá todos los hidrocarburos solubles en diclorometano. Pasar el matraz bola a un rotoevaporador y concentrar el extracto orgánico a sequedad.
- 8) Recuperar el concentrado en un vial de 40 ml con tapón de teflón para su cuantificación por alguno de los métodos reportados.

Método 2: Cuantificación por Gravimetría

Método gravimétrico para la cuantificación de hidrocarburos totales del petróleo

La técnica de gravimetría mide el peso de los contaminantes totales extraídos con un solvente por medio de una balanza analítica. Ofrece una cuantificación gruesa que no requiere equipo sofisticado, es un procedimiento sencillo, barato y rápido. El contenido de hidrocarburos a bajas concentraciones no puede ser determinado con mucha precisión con este método, debido al error que se puede presentar con pesos muy pequeños; sin embargo, por arriba de 50 000 mg kg⁻¹ es recomendada. Este método no da información sobre el tipo de compuesto presente, o de la presencia o ausencia de compuestos tóxicos.

El método gravimétrico es recomendado para la medición de HTPs provenientes de muestras muy aceitosas, por ejemplo que contienen hidrocarburos pesados o para muestras acuosas cuando el hexano es preferido como solvente (US EPA 821-B94-004, 1995).

A. Material y equipo

- Matraces de bola de 250 ml.
- Rotoevaporador.
- Viales o tubos de vidrio de 25 ml.
- Balanza analítica.
- Pinzas.

B. Procedimiento

1) Poner a peso constante el recipiente donde se colocará el extracto orgánico obtenido (matraz de bola para la extracción, vial o tubo de vidrio) Colocar el recipiente en la estufa a 120°C durante 4 horas. Sacar este material y colocarlo en un desecador para que se enfríe. Pesar el recipiente, después colocarlo otra vez dentro de la estufa y volver a realizar el procedimiento hasta que el peso no cambie. Anotar el peso del recipiente (R_A).

2) Una vez que el extracto orgánico obtenido (ver sección 5.2) esté en un matraz de bola, tubo o vial de vidrio a peso constante, se procede a la evaporación total del solvente (diclorometano) en un rotoevaporador 740 ± 50 mbar y 45°C hasta sequedad.

3) Pesar nuevamente el matraz, vial o tubo con el extracto libre de solvente. Anotar el peso (R_B).

C. Cálculos

La diferencia en peso corresponde al contenido total de HTPs. Para hacer el cálculo de concentración de hidrocarburos totales del petróleo provenientes de la muestra, se debe considerar la cantidad de suelo que se pesó para la extracción, así como la humedad de la muestra. El resultado debe expresarse en mg de HTP/kg de suelo seco, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{HTPs (mg kg}^{-1} \text{ de s.s.)} = (R_B - R_A) * (FC) / (P * FH).$$

Dónde:

HTPs (mg kg⁻¹ de s.s.) = hidrocarburos totales del petróleo en mg/ kg de suelo seco.

R_A = peso (mg) del recipiente vacío a peso constante.

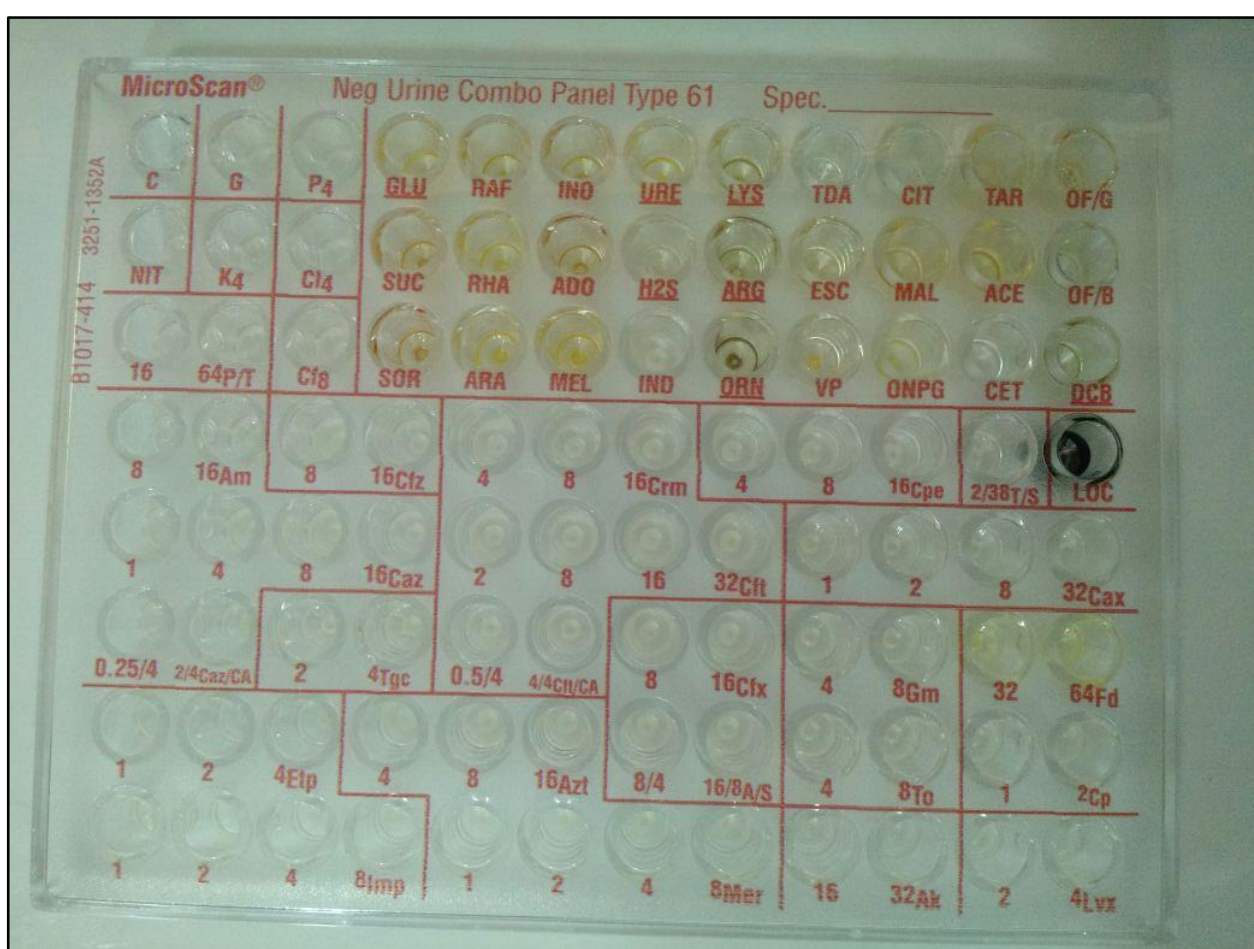
R_B = peso (mg) del recipiente con el extracto orgánico concentrado.

P = cantidad de suelo extraído (g).

FH = factor de corrección de humedad (1-(%humedad/100)).

FC = factor de corrección para transformar a kg de s.s. = 1 000.

Anexo N° 6: MICROSCAN®



Anexo N° 7: Siembra en Placas Petri



Anexo N° 8: Confiabilidad del método

A una muestra de suelo de tres puntos diferentes sin contaminar, se le hizo un análisis de concentración de grasas empleando la misma metodología, donde se obtuvo los siguientes resultados:

MUESTRA EN BLANCO SUELO

PUNTO	MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	GRASAS DEL SUELO (mg/Kg)
PUNTO 1	M1	186502.30	0.0125	12.50	186514.80	1421.10
	M2	186502.30	0.0120	12.00	186514.30	1364.26
	M3	186502.30	0.0128	12.80	186515.10	1455.21
PUNTO 2	M1	186502.30	0.0120	12.00	186514.30	1364.26
	M2	186502.30	0.0125	12.50	186514.80	1421.10
	M3	186502.30	0.0127	12.70	186515.00	1443.84
PUNTO 3	M1	186502.30	0.0128	12.80	186515.10	1455.21
	M2	186502.30	0.0132	13.20	186515.50	1500.68
	M3	186502.30	0.0130	13.00	186515.30	1477.94
Promedio						1433.73

Dónde:

W_A: PESO DEL RECIPIENTE

W_E: PESO DEL EXTRACTO

W_{TPH}: PESO TPH

P: CANTIDAD DE SUELO EXTRAIDO

FC: Factor de corrección: 1000

P: Muestra de suelo: 10 g.

%H: Porcentaje de humedad del suelo 12.04 %

FH= 1-(%H/100) = 0.879

A este suelo sin contaminar, intencionalmente se le agrega 1 g de petróleo (3.5 ml) en cada 10 g de suelo, cada uno, con la finalidad de comprobar que el método seleccionado para analizar la concentración de TPH sea confiable, es decir que debe extraer 1g de petróleo, que se lo que se le ha agregado para concluir que la metodología aplicada es 100% confiable. Se obtuvo:

MUESTRA SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO

PUNTO	MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	Contaminante (mg/Kg)
PUNTO 1	M1	186502.3	0.9754	975.40	187477.70	110891.31
	M2	186502.3	0.9860	986.00	187488.30	112096.41
	M3	186502.3	0.9748	974.80	187477.10	110823.10
PUNTO 2	M1	186502.3	0.9760	976.00	187478.30	110959.53
	M2	186502.3	0.9787	978.70	187481.00	111266.48
	M3	186502.3	0.9820	982.00	187484.30	111641.66
PUNTO 3	M1	186502.3	0.9744	974.40	187476.70	110777.63
	M2	186502.3	0.9812	981.20	187483.50	111550.70
	M3	186502.3	0.9769	976.90	187479.20	111061.85
Promedio						111229.85

Dónde:

W_A: PESO DEL RECIPIENTE

W_E: PESO DEL EXTRACTO

W_{TPH}: PESO TPH

P: CANTIDAD DE SUELO EXTRAIDO

FC: Factor de corrección: 1000

P: Muestra de suelo: 10 g.

%H: Porcentaje de humedad del suelo 12.04 %

FH= 1-(%H/100) = 0.879

Para determinar la confiabilidad de la muestra, empleando la misma fórmula se obtuvo como concentración TPH cuando la muestra contiene 1g de petróleo:

CONCENTRACIÓN INICIAL DEL SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO (mg/Kg)

WA (mg)	WE (mg)	WA+WE (mg/Kg)	TPH (mg/Kg)
186502.3	1000	187502.3	113688.04

Al total extraído (grasas del suelo y petróleo), se le restó el promedio de grasas del suelo, para obtener el total extraído de petróleo.

$$P_E = T_E - P_{GS}$$

Finalmente, se obtuvo lo siguiente:

ANÁLISIS DE RESULTADOS	
Grasa natural del suelo (mg/Kg)	1433.73
Total extraído (mg/Kg)	111 229.85
TPH extraído (mg/Kg)	109 796.11
Total contaminado (mg/Kg)	113 688.04
Eficiencia del Método (%)	96.58

Anexo N° 9: Resultados

E1: GRUPO CONTROL: 1 kg de suelo contaminado con hidrocarburo

CERO DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186526.8	1.1585	1158.5	187685.3	131707.59
M2	186526.8	1.1639	1163.9	187690.7	132321.51
M3	186526.8	1.1598	1159.8	187686.6	131855.39

25 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186.5268	1.1581	1158.1	1344.6268	131662.12
M2	186.5268	1.1633	1163.3	1349.8268	132253.30
M3	186.5268	1.1593	1159.3	1345.8268	131798.54

50 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186.5268	1.1576	1157.6	1344.1268	131605.28
M2	186.5268	1.1628	1162.8	1349.3268	132196.45
M3	186.5268	1.1587	1158.7	1345.2268	131730.33

Dónde:

W_A: PESO DEL RECIPIENTE

W_E: PESO DEL EXTRACTO

W_{TPH}: PESO TPH

P: CANTIDAD DE SUELO EXTRAIDO

FC: Factor de corrección: 1000

P: Muestra de suelo: 10 g.

%H: Porcentaje de humedad del suelo 12.04 %

FH= 1-(%H/100) = 0.879

E2: 1kg de suelo contaminado con hidrocarburo + 100 g de compost.

CERO DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186494.8	1.1588	1158.8	187653.6	131741.70
M2	186494.8	1.1636	1163.6	187658.4	132287.40
M3	186494.8	1.1599	1159.9	187654.7	131866.76

25 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186494.8	1.0493	1049.3	187544.1	119292.86
M2	186494.8	1.0582	1058.2	187553	120304.68
M3	186494.8	1.0631	1063.1	187557.9	120861.76

50 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186494.8	0.8911	891.1	187385.9	101307.41
M2	186494.8	0.8975	897.5	187392.3	102035.02
M3	186494.8	0.9004	900.4	187395.2	102364.71

Dónde:

W_A: PESO DEL RECIPIENTE

W_E: PESO DEL EXTRACTO

W_{TPH}: PESO TPH

P: CANTIDAD DE SUELO EXTRAIDO

FC: Factor de corrección: 1000

P: Muestra de suelo: 10 g.

%H: Porcentaje de humedad del suelo 12.04 %

FH= 1-(%H/100) = 0.879

E3: 1kg de suelo contaminado con hidrocarburo + 200 g de compost.**CERO DÍAS**

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186526.8	1.1586	1158.6	187685.4	131718.96
M2	186526.8	1.1598	1159.8	187686.6	131855.39
M3	186526.8	1.1588	1158.8	187685.6	131741.70

25 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186526.8	0.8007	800.7	187327.5	91030.01
M2	186526.8	0.801	801	187327.8	91064.12
M3	186526.8	0.7999	799.9	187326.7	90939.06

50 DÍAS

MUESTRA	WA (mg)	WE (g)	WE (mg)	WA+WE (mg)	TPH (mg/Kg)
M1	186526.8	0.6387	638.7	187165.5	72612.55
M2	186526.8	0.6293	629.3	187156.1	71543.88
M3	186526.8	0.6354	635.4	187162.2	72237.38

Dónde:

W_A: PESO DEL RECIPIENTEW_E: PESO DEL EXTRACTOW_{TPH}: PESO TPH

P: CANTIDAD DE SUELO EXTRAIDO

FC: Factor de corrección: 1000

P: Muestra de suelo: 10 g.

%H: Porcentaje de humedad del suelo 12.04 %

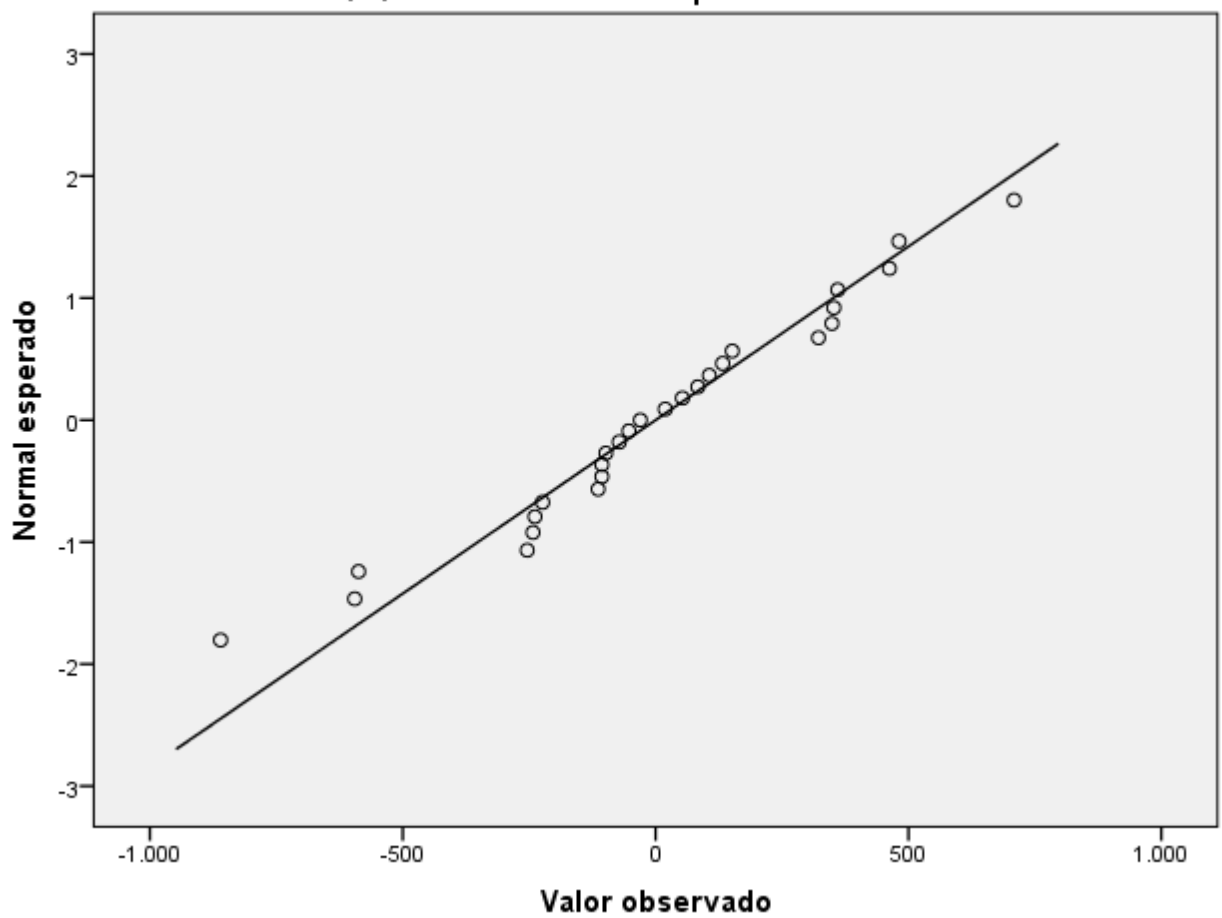
FH= 1-(%H/100) = 0.879

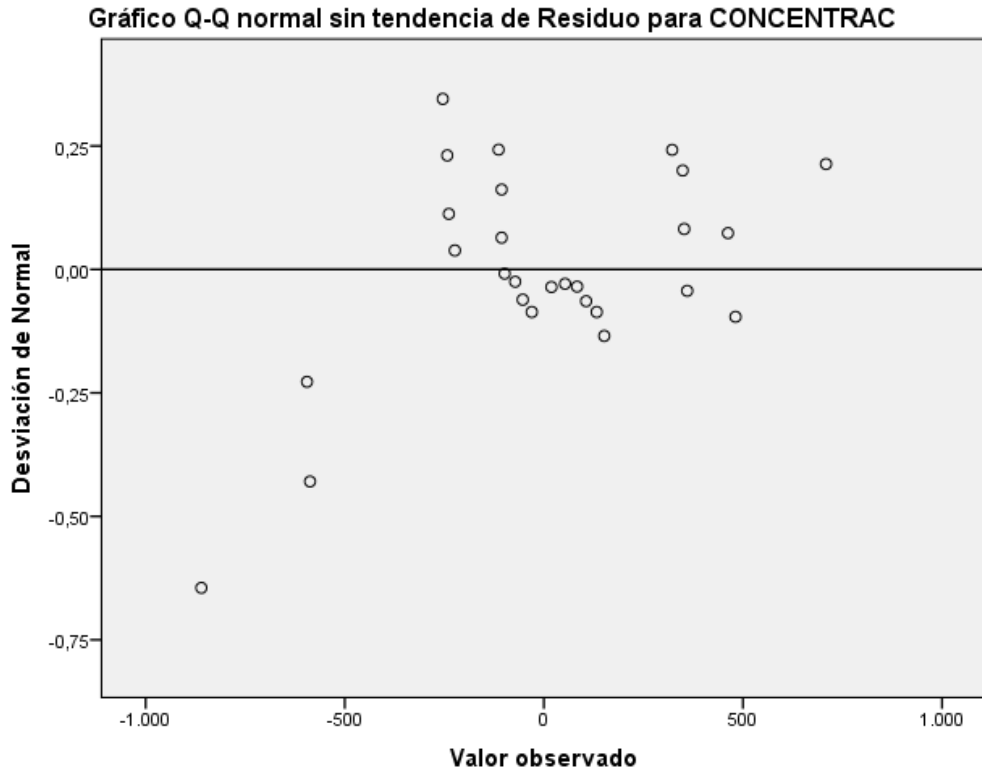
Anexo N° 10: Bondad de Ajuste de análisis estadístico

Pruebas de normalidad

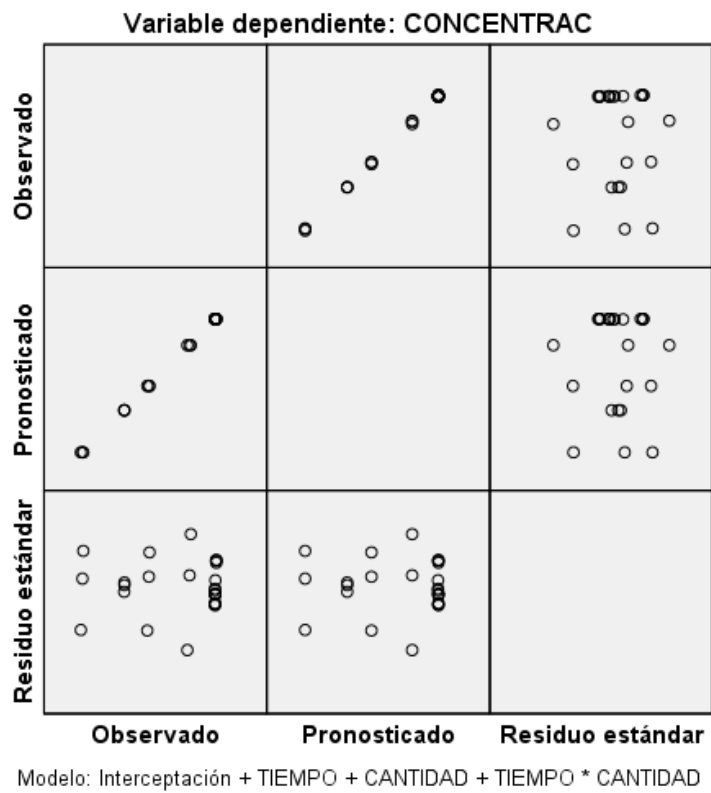
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Residuo para CONCENTRAC	,124	27	,200 [*]	,971	27	,619

Gráfico Q-Q normal de Residuo para CONCENTRAC





NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS.

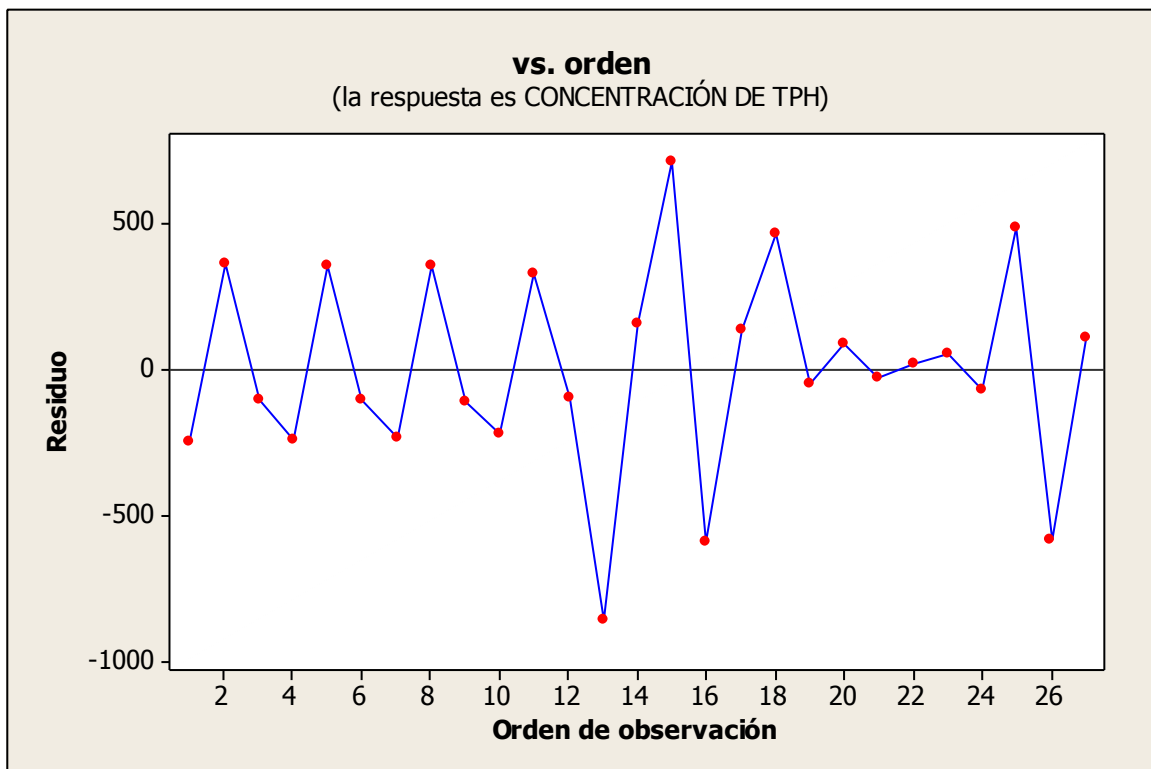


HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS.

Variable dependiente: CONCENTRAC

F	df1	df2	Sig.
2,375	8	18	,061

Supuesto de Independencia - Gráficos de residuales en secuencia con el tiempo



Anexo N° 11: Estándares de Calidad Ambiental para suelos

**ESTÁNDARES DE CALIDAD
AMBIENTAL PARA SUELO**

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
I Orgánicos					
1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
6	Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1 200	1 200	5 000	EPA 8015-M
8	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3 000	3 000	6 000	EPA 8015-D
9	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
10	Bifenilos policlorados - PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
11	Aldrin (mg/kg MS) ₍₁₎	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrin (mg/kg MS) ₍₁₎	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS) ₍₁₎	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS) ₍₁₎	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D

Anexo N° 12: Evidencias Fotográficas

ELABORACIÓN DE COMPOST



Limón como residuo orgánico



Degradación del limón a los 10 días



Degradación del limón a los 20 días

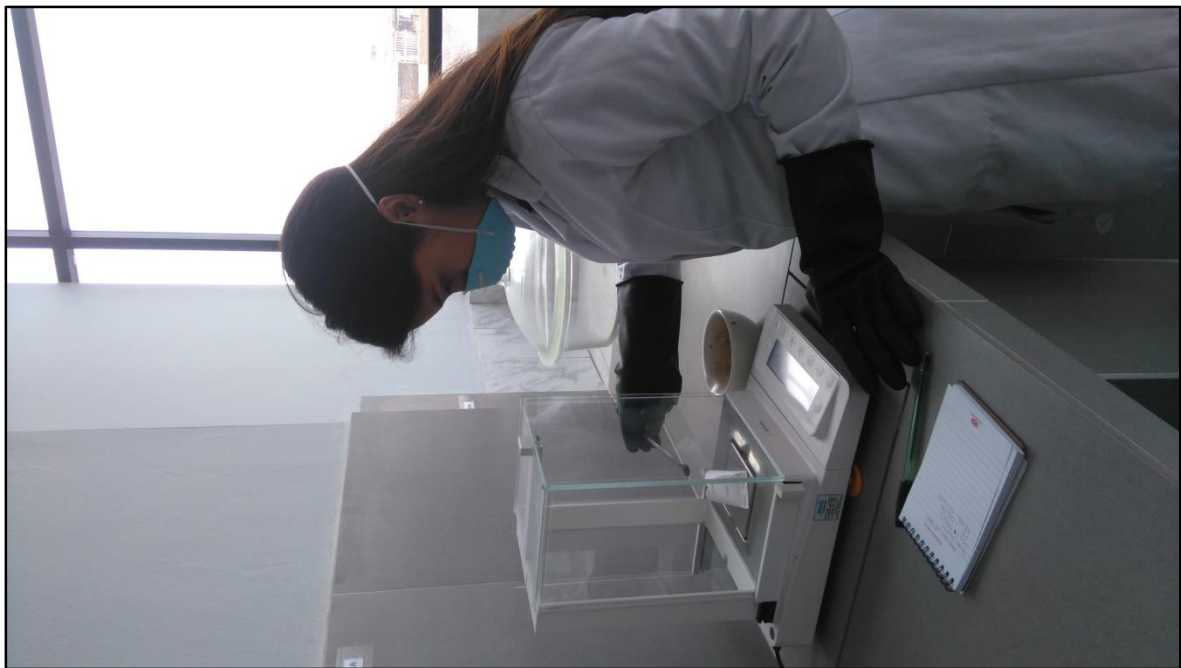
TRABAJO EN LABORATORIO



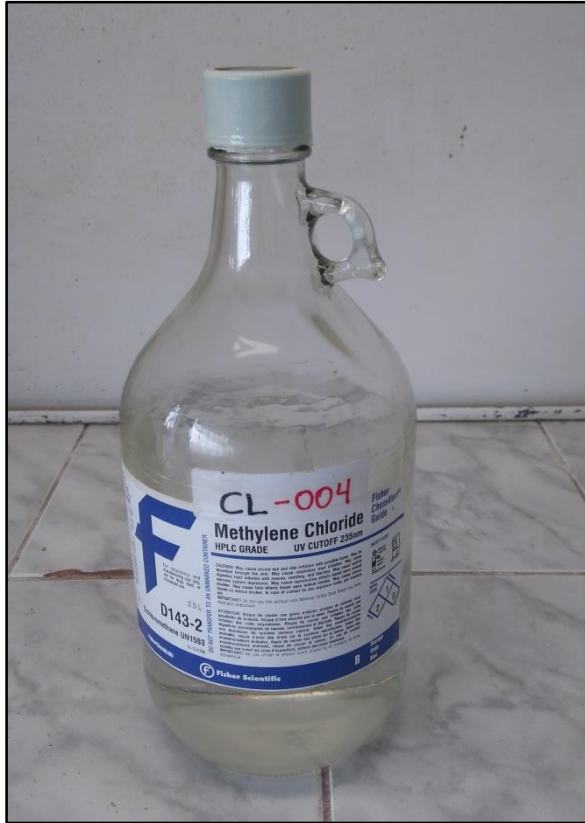
Equipo Soxhlet



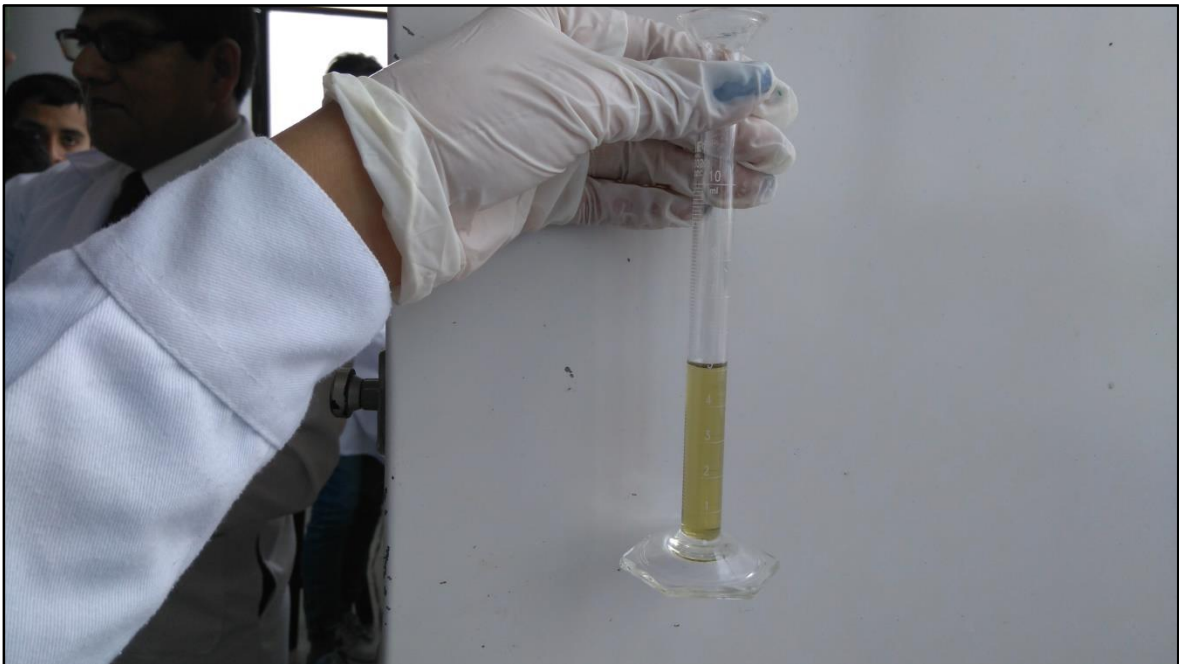
Pesado



Pesado de muestras



Disolvente empleado



Dilución de petróleo



Medición del Disolvente



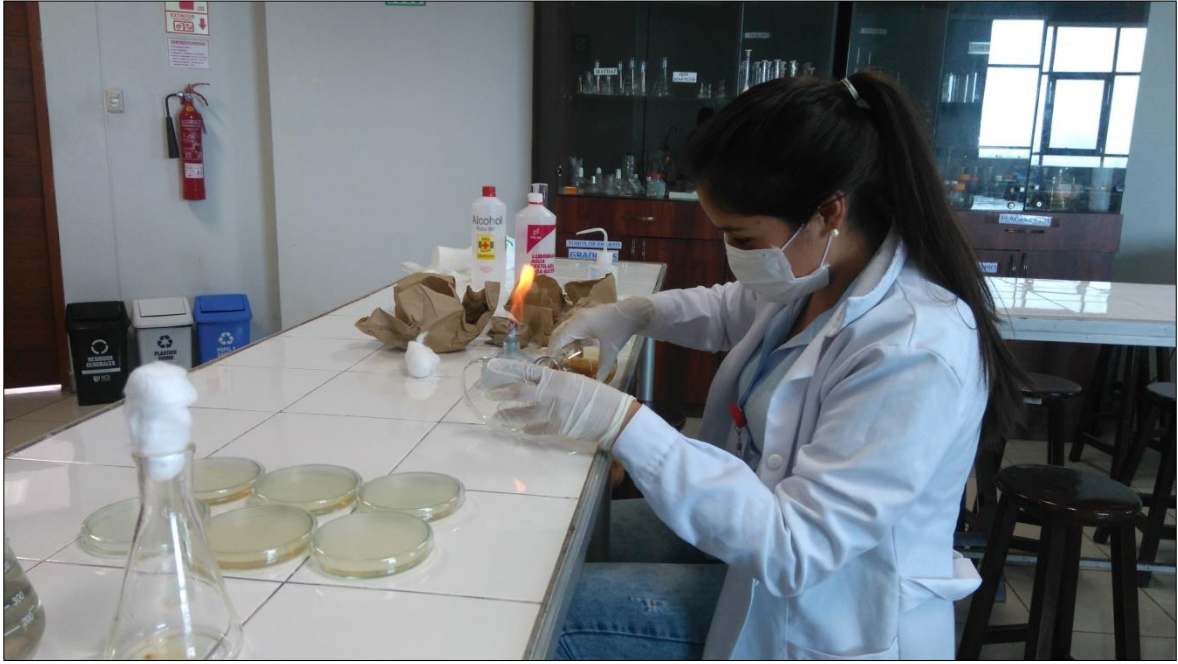
Medición de pH



Medición de Conductividad Eléctrica



Muestras de Suelo en tratamiento

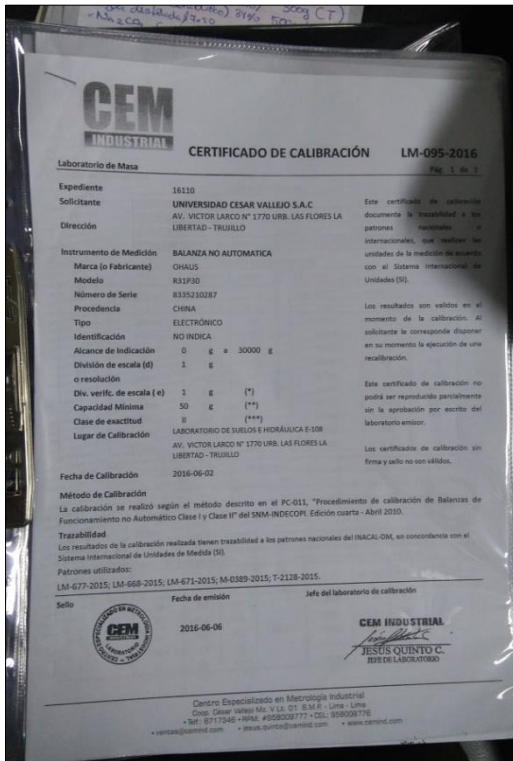


Preparación de placas

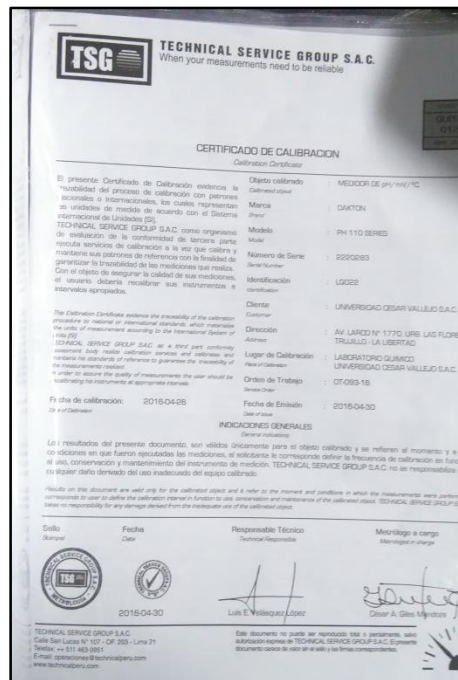


Siembra en placas Petri

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS



Certificado de calibración de balanza y conductímetro



Certificado de calibración de pH-ímetro

Anexo N° 13: MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA ELABORACIÓN DE INFORME DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TAMAYO RODRIGUEZ, Lorenz Nicolth

FACULTAD/ESCUELA: Facultad de Ingeniería / Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	“Efecto del compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara”
PROBLEMA	¿Cuál es el efecto del compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara?
HIPÓTESIS	El compost de cáscara de limón produce microorganismos que estando en condiciones ambientales óptimas, al hacer contacto con el suelo contaminado, degrada las cadenas aromáticas de hidrocarburos favoreciendo el proceso de biorremediación del suelo procedente de Refinería Talara.
OBJETIVO GENERAL	Evaluar el efecto del compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar físicamente una muestra real y representativa de suelo contaminado con TPH proveniente de Refinería Talara y determinar su concentración inicial para ser comparada con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes. - Elaborar compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> variando la cantidad (g/Kg) y tiempo de aplicación (Días) como tratamiento de suelos contaminados con TPH. - Determinar el mejor tratamiento de en función al porcentaje de eficiencia de degradación de TPH.
DISEÑO DEL ESTUDIO	Esta investigación emplea como diseño experimental el diseño factorial, de modelo lineal univariado, donde se manipularan las variables con la finalidad de analizar la relación entre la variable independiente y la variable dependiente.
POBLACIÓN Y MUESTRA	<p>Población: Total de tierra contaminada con Hidrocarburo de la Refinería Talara – Petroperú, a lo largo de los años.</p> <p>Muestra: 09 kg de tierra contaminada con hidrocarburo</p> <p>Unidad de Análisis: 10 g de suelo contaminado con hidrocarburo.</p>
VARIABLES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Variable Dependiente: Degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo ✓ Variable Independiente: Compost de Cáscara de <i>Citrus limón</i>.