

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

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



**PROSPECCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN  
DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL DISTRITO DE  
IMAZA, BAGUA, AMAZONAS**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES : KERLUIN EUGENIO YOPLAC VIGO  
OLIVER TUESTA CHAVEZ

ASESOR : M.Sc. Elí Pariente Mondragón

CO-ASESOR : M.Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

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

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



**PROSPECCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN  
DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL DISTRITO DE  
IMAZA, BAGUA, AMAZONAS**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES : KERLUIN EUGENIO YOPLAC VIGO  
OLIVER TUESTA CHAVEZ

ASESOR : M.Sc. Elí Pariente Mondragón

CO-ASESOR : M.Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

## DEDICATORIA

*A mis padres, **Eugenio Yoplac** y **Juana Vigo** por ser ejemplo de perseverancia y lucha constante en la vida, por su incondicional apoyo para alcanzar mis metas. A mis hermanos, amigos y demás familiares por sus consejos y apoyo en todo momento, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.*

*¡Gracias a ustedes!*

**Kerluin Eugenio**

*A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinito amor y bondad. A mis padres **Ausberto Tuesta** y **Margarita Chavez** por haberme dado la vida y por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, a mis hermanos **Cleyder**, **Iruel** y **Henry**, y demás familiares, por su apoyo en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo, consejos, comprensión, amor y por ser los guía el sendero de cada acto que realizo hoy, mañana y siempre.*

*A todos mis amigos que nos alentamos mutuamente en nuestra formación profesional. A los maestros de la facultad de Ingeniería civil y ambiental de la UNTRM - A, por la motivación para la culminación de nuestros estudios, por el tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.*

*Y a todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes ya saben quiénes son.*

**Oliver**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores expresan agradecimientos:

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por ser el centro de gran aprendizaje en la investigación científica. Por sumar experiencias y preparación, para enfrentar con satisfacción los retos de la vida.

A nuestros asesores, Ing. M.Sc. Elí Pariente e Ing. M.Sc. Wagner Guzmán por su tiempo compartido, por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, además, su gran apoyo y motivación en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Manuel Emilio Milla Pino por apoyarnos con el análisis estadístico de los datos de esta investigación.

Al Sr. Linder Obet Arirua López por habernos guiado e informado, permitir el acceso a su predio para la toma de muestras de suelo y de las especies vegetales en las áreas afectadas por derrames de petróleo.

A nuestros compañeros y amigos que nos apoyaron en nuestra formación profesional y, a todos aquellos que de una u otra forma ayudaron en el desarrollo de esta investigación.

**¡A todos ustedes, muchas gracias!**

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

---

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

---

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRERA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

---

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

---

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental



**ANEXO 2-N**

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de abril del año 2018, siendo las 10:00 am. horas, el aspirante: YOPLAC VILCO, KERLUIN EUGENIO defiende públicamente la Tesis titulada: "Prospección de espacios arbóreas para la fitoremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Imaza, Bagua, Amazonas" para optar el Título Profesional en Ingeniero Ambiental otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:  
 Presidente : Ing. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui  
 Secretario : M.Sc. Rosalynn Yohana Rivera López  
 Vocal : M.Sc. Gino Alfredo Vargas Medina



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

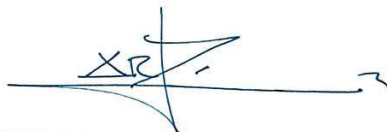
Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente ( )      Aprobado (X)      No apto ( )

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 11:30 am. del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

  
 \_\_\_\_\_  
 PRESIDENTE

  
 \_\_\_\_\_  
 SECRETARIO

  
 \_\_\_\_\_  
 VOCAL

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**ANEXO 2-N**

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de abril del año 2018, siendo las 10:00 a.m. horas, el aspirante: TUESTA CHAVEZ, OLIVER defiende públicamente la Tesis titulada: Prospección de espacios arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Imaza, Bagua, Amazonas para optar el Título Profesional en Ingeniero Ambiental otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:  
 Presidente : Arg. Guillermo Arturo Díaz Jáuraguí  
 Secretario : M.sc. Rosalynn Yohanna Rivera López  
 Vocal : M.Sc. Gina Alfredo Vergara Medina



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideraran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

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

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente ( )      Aprobado (X)      No apto ( )

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 11:30 am del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

  
 \_\_\_\_\_  
 PRESIDENTE

  
 \_\_\_\_\_  
 SECRETARIO

  
 \_\_\_\_\_  
 VOCAL

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Nosotros, Oliver Tuesta Chávez identificados con DNI N° 47353570 y Kerluin Eugenio Yoplac Vigo identificados con DNI N° 48352291, Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.


Declaramos bajo juramento que:


- 1°. Somos los autores de la tesis titulada: **Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales en el Anexo Inayo, Imaza, Amazonas**, la misma que presentamos para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.
- 2°. La tesis no ha sido plagiada, ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- 3°. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- 4°. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 5°. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestras acciones se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

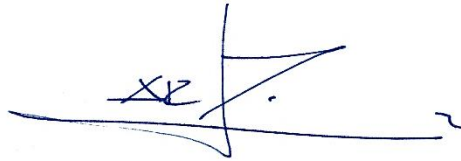
Chachapoyas 02 de mayo de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Oliver Tuesta Chavez  
DNI N° 47353570

  
\_\_\_\_\_  
Kerluin Eugenio Yoplac Vigo  
DNI N° 48352291



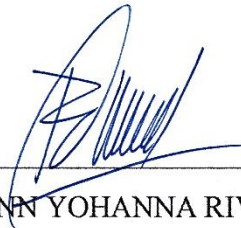
## JURADO DE TESIS



---

Arq. GUILLERMO ARTURO DÍAZ JÁUREGUI

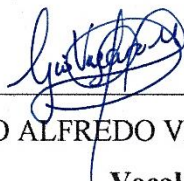
**Presidente**



---

M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

**Secretaria**



---

M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

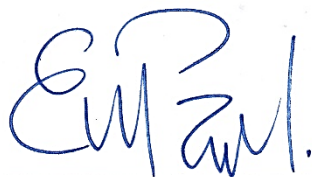
**Vocal**

## VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo **Elí Pariente Mondragón**, docente de la UNTRM, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada “**Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Imaza, Bagua, Amazonas**”, elaborado por los tesisistas **Kerluin Eugenio Yoplac Vigo** y **Oliver Tuesta Chavez**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El docente de la UNTRM que suscribe, da **Visto Bueno** al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 02 de mayo de 2018



---

**M.Sc. Elí Pariente Mondragón**

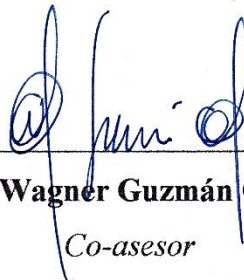
*Asesor*

## VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

Yo **Wagner Guzmán Castillo**, docente de la UNTRM, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada “**Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Imaza, Bagua, Amazonas**”, elaborado por los tesisistas **Kerluin Eugenio Yoplac Vigo** y **Oliver Tuesta Chavez**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El docente de la UNTRM que suscribe, da **Visto Bueno** al informe final de tesis en mención.

Chachapoyas, 02 de mayo de 2018



---

**M.Sc. Wagner Guzmán Castillo**

*Co-asesor*

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	i
<b>AGRADECIMIENTO</b>	ii
<b>AUTORIDADES UNIVERSITARIAS</b>	iii
<b>ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS</b>	iv
<b>DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO</b>	vi
<b>JURADO DE TESIS</b>	vii
<b>VISTO BUENO DEL ASESOR</b>	viii
<b>VISTO BUENO DEL CO-ASESOR</b>	ix
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xiii
<b>RESUMEN</b>	xiv
<b>ABSTRACT</b>	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. OBJETIVOS</b>	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
<b>III. MARCO TEÓRICO</b>	3
3.1. Antecedentes de la investigación	3
3.2. Bases teóricas	7
3.3. Definición de términos	14
<b>IV. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	15
4.1. Diseño de investigación	15
4.2. Población, muestra y muestreo	15
4.3. Zona de estudio	15

4.4. Variables de estudio	17
4.5. Materiales y equipos	18
4.6. Metodología	18
4.7. Análisis de datos	25
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>26</b>
5.1. Levantamiento de información	26
5.2. Descripción de las especies presentes en el área de estudio	27
5.3. Concentración total de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras vegetales por especie	29
5.4. Tratamiento estadístico de la concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo	31
<b>VI. DISCUSIÓN</b>	<b>33</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>40</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Emergencias atendidas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) 2011-2016	6
<b>Tabla 2.</b> Ventajas y desventajas de la fitorremediación	14
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de variables	17
<b>Tabla 4.</b> Materiales y equipos empleados para el desarrollo del presente estudio	18
<b>Tabla 5.</b> Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en muestras de suelo	26
<b>Tabla 6.</b> Listado de especies identificadas en el área de estudio	27
<b>Tabla 7.</b> Descripción de las especies en el área de estudio	27
<b>Tabla 8.</b> ANOVA no paramétrico bidireccional de Friedman para “Concentración = Especie”	32
<b>Tabla 9.</b> ANOVA no paramétrico bidireccional de Friedman para “Concentración = Estructura”	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Oleoducto Norperuano. Fuente: Petroperú (2008)	5
<b>Figura 2.</b> Mecanismos de fitorremediación. Adaptado de Greipsson (2011).	11
<b>Figura 3.</b> Área de estudio	16
<b>Figura 4.</b> Punto de fuga del oleoducto norperuano	17
<b>Figura 5.</b> Vista en 3D del área de estudio.	19
<b>Figura 6.</b> Muestreo de suelo a 30 cm de profundidad	20
<b>Figura 7.</b> Vegetación presente en el área afectada por el derrame de petróleo	20
<b>Figura 8.</b> Inspección visual de características fisiológicas de las plantas	20
<b>Figura 9.</b> Colecta de ramitas terminales	21
<b>Figura 10.</b> Asignación de códigos a las muestras colectadas	21
<b>Figura 11.</b> Prensado de las muestras en la prensa botánica	22
<b>Figura 12.</b> Prensa botánica con muestras en la estufa.	22
<b>Figura 13.</b> Mapa de las especies recolectadas y muestras de suelo	23
<b>Figura 14.</b> Pesado de muestras para enviar al laboratorio para su análisis.	24
<b>Figura 15.</b> Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en las estructuras vegetales de cada especie.	30
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras vegetales	31
<b>Figura 17.</b> Prueba de Wilk & Shapiro para normalidad	31

## RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en el Anexo Inayo, distrito de Imaza, en el área contaminada por derrame de petróleo; tuvo como objetivo principal determinar que especies nativas acumulan Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) de forma natural; para ello se recolectaron e identificaron las especies que habitaban en el área, estas fueron seleccionadas, procesadas y analizadas para cuantificar la concentración de HTP en las estructuras de la planta (hoja, raíz, tallo). Los resultados indican que las especies *Piptocoma discolor*, *Theobroma cacao*, *Jacaranda copaia*, *Cedrela Sp.* y *Schizolobium parahyba*, que se encuentran en el área de estudio tienen la capacidad de bioacumular HTP en sus tejidos de forma natural; sobresaliendo la especie *Piptocoma discolor* que presentó mayor concentración en sus hojas con 28.306 mg/kg de HTP, seguida por *Theobroma cacao* con 7.171 y 6.162 mg/kg de HTP en raíz y tallo respectivamente. Sin embargo, el análisis estadístico realizado afirma que las especies están acumulando HTP, pero ninguna especie tiene superioridad sobre la otra, respecto a la acumulación de este contaminante.

**Palabras clave:** Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), Fitorremediación de suelos, Especies vegetales.



## ABSTRACT

This investigation was carried out in the Annex Inayo, district of Imaza, in the area contaminated by oil spill; Its main objective was to determine which native species accumulate Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in a natural way; To this end, the species that inhabited the area were collected and identified, they were selected, processed and analyzed to quantify the concentration of TPH in the structures of the plant (leaf, root, stem). The results indicate that the species *Piptocoma discolor*, *Theobroma cacao*, *Jacaranda copaia*, *Cedrela* Sp. and *Schizolobium parahyba*, which are found in the study area have the capacity to naturally bioaccumulate TPH in their tissues; standing out the species *Piptocoma discolor* that presented higher concentration in its leaves with 28,306 mg/kg of TPH, followed by *Theobroma cacao* with 7,171 and 6,162 mg/kg of TPH in root and stem respectively. However, the statistical analysis carried out affirms that the species are accumulating TPH, but no species has superiority over the other, with respect to the accumulation of this pollutant.

**Keywords:** Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), Soil Phytoremediation, Plant species.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural indispensable para la vida del planeta, permite el establecimiento de actividades agrícolas, forestales y ganaderas (Acosta, 2015; Rodríguez, 2013); sin embargo, a nivel mundial, la gradual degradación del suelo se produce por contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, que pueden ser por causas naturales (erosión, filtraciones salinas) o antrópicas (derrames de petróleo, explotación de minerales) (Arthur *et al.*, 2005; Buendía *et al.*, 2014).

Los derrames de petróleo causan transformaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cébron *et al.*, 2011; Rivera, 2011). Por su alta densidad toxica, el petróleo crudo afecta la densidad y diversidad de las bacterias y hongos rizosféricos, provocando la disminución de la abundancia y riqueza de la fauna del suelo (Rivera, 2011; Uribe *et al.*, 2010; Cutz-Pool *et al.*, 2007). En las plantas, altera el crecimiento y reproducción (Plaza *et al.*, 2005; Rivera *et al.*, 2012). Estas debido a la toxicidad del contaminante, se valen de mecanismos como: sorción, liberación de exudados radicales y enzimas, e incremento de la mineralización en la rizósfera (Schnoor & Lich, 1995). La sorción es el principal fenómeno que influye en la biodisponibilidad de compuestos orgánicos (Doménech & Peral, 2006); a la vez, está influenciada por la etapa de crecimiento de la planta (Escalante & Gallegos, 2005).

En la actualidad no existe un documento completo que integre, las especies vegetales que se adaptan a suelos contaminados con hidrocarburos; en Perú apenas existen esfuerzos en realizar estudios en esta línea de la fitorremediación. No obstante, las especies que sobreviven en suelos afectados por derrames de petróleo manifiestan disminución en el crecimiento radicular y cobertura vegetal (Rivera *et al.*, 2006). Por lo que en este trabajo se aborda la técnica de saneamiento biológico “fitorremediación” y enfocada en la identificación de especies arbóreas con capacidad de acumular Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), con la finalidad de conocer qué especies vegetales tienen el potencial de fitorremediador de HTP., que ayuden a la conservación y manejo de los recursos naturales.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Identificar la flora leñosa con capacidad de acumular Hidrocarburos Totales del Petróleo en sitios que presentan problemas de derrames de petróleo, del distrito de Imaza.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar la flora leñosa que se encuentra establecida en suelos agrícolas afectados por Hidrocarburos Totales del Petróleo, en el distrito de Imaza.
- Cuantificar el contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo en las estructuras principales (raíz, tallo y hoja) de las especies vegetales recolectadas.
- Determinar qué especies cuentan con el mayor grado de acumulación de Hidrocarburos Totales de Petróleo.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

Arellano *et al.* (2017), evaluaron los efectos de la contaminación por petróleo en tres sitios en la Amazonía ecuatoriana, considerando sitios de estudio contaminados y no contaminados, estimando el contenido de clorofila foliar. Obteniendo resultados menores de clorofila foliar en el sitio contaminado, comparado con los sitios no contaminados. En el área contaminada predominó la familia Melastomataceae y Rubiaceae, sugiriendo que especies pertenecientes a estas familias son competidores superiores en presencia de contaminación. Concluyendo que la contaminación del petróleo disminuye la diversidad y riqueza de plantas, debido al estrés de la vegetación expuesta a este contaminante.

Kaur *et al.* (2017), consideran que es esencial identificar especies de plantas tolerantes a contaminantes de hidrocarburos del petróleo, para seleccionar las especies más tolerantes y adecuadas a situaciones específicas del sitio contaminado (tipo de suelo, historia de contaminantes, condiciones climáticas, estado nutricional del sitio), con una selección de especies vegetales centrada en (i) la filogenia, (ii) características morfológicas y funcionales de las plantas, y (iii) tolerancia a las tensiones ambientales adversas.

Panchenko *et al.* (2017), reporta que las familias Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, y Brassicaceae predominaron por un periodo de 13 años en suelos contaminados con petróleo (2.0 - 75.6 g/kg) y no contaminados (0.04 – 2.0 g/kg) de una refinería de petróleo, utilizando 62 especies de plantas, realizaron un estudio de campo de las características de la planta que facilitan la remediación natural del suelo, evaluando la resistencia a la contaminación, reducción de la concentración de hidrocarburos de petróleo, capacidad de enriquecer el suelo de la rizosfera con microorganismos y nitrógeno mineral biodisponible.

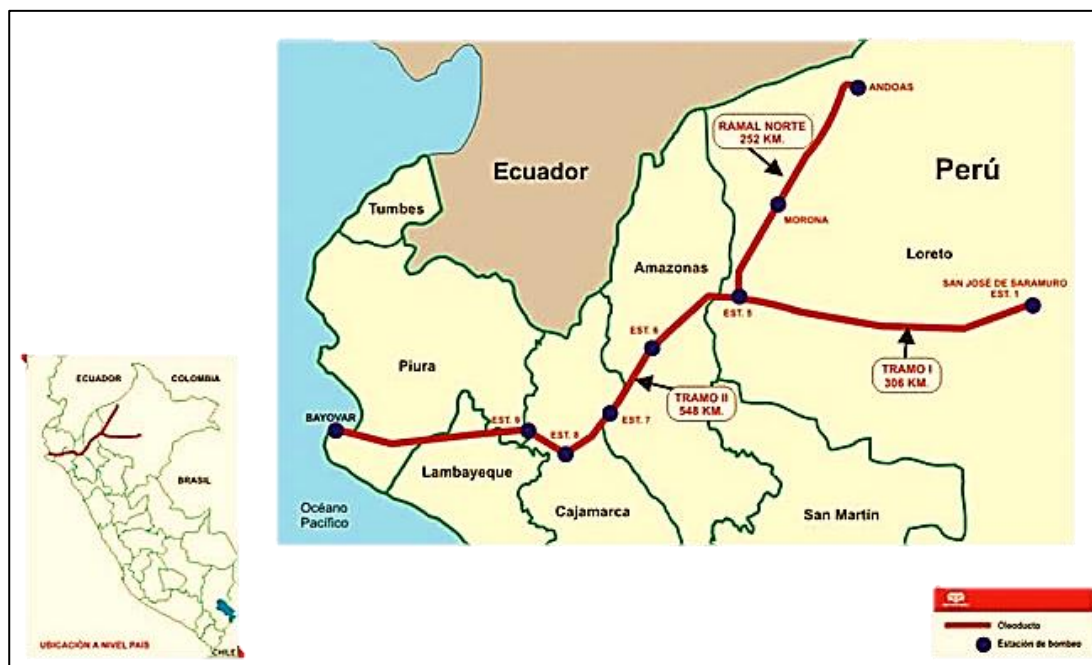
Ochoa *et al.* (2011), reportaron 25 especies que resistieron a la contaminación de suelos con 42000 mg de HTP/kg (de 45 especies registradas), la mayoría de las plantas se presentaron en sitios con menor concentración del contaminante y en la etapa de plántula, indicando un buen desarrollo inicial pero que no llegan a la etapa adulta, debido a que pueden ser consumidas por el ganado o ser eliminadas durante

la limpieza de potreros. Además, sugieren que *Myrica cerífera* y *Acoelorrhaphe wrightii*, y pueden ser útiles para la restauración de sitios con alto contenidos de HTP, por su capacidad de crecer en pasivos ambientales.

### **3.1.1. La contaminación por hidrocarburos del petróleo en Perú**

El Perú, ocupa el séptimo lugar en reservas y producción de crudo en América Latina (Osinermin, 2009). Las actividades de explotación y extracción de petróleo crudo son la principal fuente de contaminación por hidrocarburos. En el 2015 se identificaron 4 353 pasivos ambientales de alto riesgo, de los cuales 72 son generados por el sector hidrocarburos (Gestión, 2015). El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin) identificó 1 821 y 2 803 pozos abandonados en los años 2010 y 2011 respectivamente, ubicadas en las regiones norteñas del país (Piura y Loreto), cuando entonces no existían normas que exigieran a los titulares de las concesiones un abandono responsable de cada instalación (Salazar, 2012).

En el año 2015, Pluspetrol administraba la extracción de hidrocarburos del lote 192 y, esta reveló que existían más de 2 000 pasivos ambientales, como derrames de crudo, montículos de chatarra, cilindros con residuos tóxicos abandonados en toda la zona de la concesión petrolera (López, 2017). El oleoducto Norperuano de Petroperú entró en operaciones en el año de 1972, y tiene 854 km de longitud (Figura 1), y atraviesa diversos ecosistemas de costa, sierra y selva (Petroperú, 2008). Desde 1977 al 2016, la tubería del oleoducto ha sufrido 61 roturas y consecuentes derrames de petróleo; no cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), pero se maneja con un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) que establece su compromiso de adoptar medidas de mantenimiento integral de las tuberías para evitar impactos negativos en el ambiente (Salazar, 2016).



**Figura 1.** Oleoducto Norperuano. Fuente: Petroperú (2008)

### 3.1.2. Contaminación de hidrocarburos en Amazonas

La principal fuente de contaminación en la región Amazonas es el Oleoducto Norperuano, el cual ha sufrido muchas roturas en diferentes tramos que atraviesan distintos ecosistemas de la región. Desde el año 2011, cuando el OEFA asumió competencias de fiscalización ambiental en el subsector hidrocarburos, hasta el 2016, se han registrado 20 emergencias ambientales significativas en el Oleoducto Norperuano de Petroperú (Salazar , 2016), de las cuales seis emergencias ocurrieron en diferentes sitios dentro de la región Amazonas y se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Emergencias atendidas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) 2011-2016

Emergencia	Fecha Supervisión	Descripción	Región	Provincia	Distrito
03/04/11	01-07/11/11	Derrame ocurrido en la Estación N° 7, progresiva Km. 513+500 (Tramo II)	Amazonas	Bagua	El Milagro
26/12/11	04/01/12	Derrame ocurrido en la Zona Industrial - Estación N° 1 (Tramo I) del Oleoducto Ñor Peruano, realizada el 04 de enero de 2012.	Loreto	Loreto	Urarinas
13/04/12	16/04/12	Derrame ocurrido en el Km. 791 +600 del ONP (Tramo II)	Piura	Sechura	Sechura
04/09/12	10/09/12	Derrame ocurrido en el Km. 397+300 del ONP (Tramo II)	Amazonas	Condorcanqui	Nieva
21/09/13	22-23/09/13	Derrame ocurrido en el Km. 504+400 del ONP (Tramo II)	Amazonas	Bagua	Bagua
25/05/14	27/05/14 03/06/14	Derrame ocurrido en el km 547+463 del ONP (Tramo II)	Cajamarca	Jaén	Jaén
26/06/14	30/06/14	Derrame ocurrido en la zona industrial de Estación 1 del ONP (Tramo I)	Loreto	Loreto	Urarinas
30/06/14	02-05/07/14 09-13/07/14 22-25/07/14 06-11/08/14	Derrame ocurrido en el Km 41 + 833 del ONP (Tramo I)	Loreto	Loreto	Urarinas
18/09/14	20-23/09-14	Progresiva km 609+031 del ONP (Tramo II)	Cajamarca	Jaén	Pucara
16/11/14	17-21/11/14	Km 20+ 190 del ONP (Tramo I)	Loreto	Loreto	Urarinas
18/11/14	19/11/14	Km 622.5 de ONP (Tramo II)	Cajamarca	Jaén	Pomahuaca
10/12/14	11-12/12/14	Progresiva km 835+200 del ONP (Tramo II)	Piura	Sechura	Parachique
27/12/14	29-31/12/14	Progresiva km 814+500 del ONP (Tramo II)	Piura	Sechura	Parachique
19/02/15	21-22/02/15	Progresiva km 504+086 del ONP (Tramo II)	Amazonas	Bagua	La peca
21/09/15	23-24/09/15	Aprox. progresiva km 797+150 del ONP (Tramo II)	Piura	Sechura	Sechura
14/10/15	16-17/10/15	Línea de recirculación de 06 pulgadas de tanque 11d13	Piura	Sechura	Sechura
02/11/15	04/10/15	Km 569+713 (Tramo II)	Cajamarca	Jaén	-
06/11/15	07-09/11/15	Km 516+408 (Tramo II)	Amazonas	Utcubamba	El milagro
25/01/16	26-28/01/16	Km 440+785 (Tramo II)	Amazonas	Bagua	Imaza
03/02/16	05-12/02/16	Km 206 +031 (Ramal Norte)	Loreto	Datem del Marañón	Morona

Fuente: OEFA (2016a)

## 3.2. Bases teóricas

### 3.2.1. Contaminación ambiental por hidrocarburos

El creciente uso del petróleo en el mundo, ha conllevado a que la actividad industrial del petróleo ocasione serios problemas ambientales, uno de los más serios en materia de contaminación de suelos, donde el derrame de los hidrocarburos derivados del petróleo ocupa uno de los primeros lugares, esto se puede evidenciar cuando tanques u oleoductos sufren daños, ya sea por el mal manejo y/o falta de mantenimiento, estos se deterioran y sufren rupturas, provocando daños al área afectada (Baoune *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2011).

Los hidrocarburos del petróleo sobresalen por su toxicidad y propiedades recalcitrantes. Estos contaminantes al ser derramados se dispersan en el suelo, subsuelo, agua subterránea, curso de agua, y sus componentes volátiles a la atmósfera (Baoune *et al.*, 2018; Ñustez, 2012; Vasallo & Herrera, 2002). El petróleo en el suelo representa un riesgo para la salud humana, debido a los problemas de toxicidad y propiedades destructivas para los ecosistemas naturales (Moliterni *et al.*, 2012; Ñustez, 2012; Varjani, 2017).

#### 3.2.1.1. Tipos de hidrocarburos del petróleo

El petróleo es un combustible natural compuesto de varios tipos de hidrocarburos que contienen básicamente, carbono (C) e hidrógeno (H). Estos compuestos pueden estar formados de cadenas de átomos de carbono largas o cortas y que pueden adoptar diferentes estructuras (Huang *et al.*, 2005; Pernar *et al.*, 2006). Balba *et al.* (1998) y Rittman (1994), dividen a los hidrocarburos del petróleo en cuatro categorías de compuestos:

- **Los saturados:** los alcanos, isoalcanos y los cicloalcanos.
- **Los aromáticos:** los BTEX (benceno, tolueno, xileno y naftaleno) y los poliaromáticos o PAHs (Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos).
- **Las resinas:** sólidos polares amorfos disueltos que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno.
- **Los asfaltenos:** moléculas polares coloidales grandes sin disolver, más resistentes a la biodegradación.



### **3.2.1.2. Fuentes de emisión y dispersión de los hidrocarburos**

Las fuentes de emisión de hidrocarburos al ambiente pueden ser naturales o antropogénicas; estas últimas son la principal causa de contaminación ambiental, ingresan al ambiente desde fugas de tuberías, tanques de almacenamiento y eliminación en la tierra de desechos de petróleo (Bamforth & Singleton, 2005; Shahriari *et al.*, 2006). Las principales fuentes de emisión son los procesos de explotación y transporte de hidrocarburos, además, el parque automotor (Terrado *et al.*, 2010).

### **3.2.2. Efectos de los hidrocarburos sobre la salud humana**

Algunos de los hidrocarburos presentes en el crudo tienen una conocida toxicidad para el ser humano, pero de la mayoría se desconoce el grado de peligrosidad (Varjani, 2017). Los hidrocarburos aromáticos simples y los policíclicos (PAH) destacan por sus efectos en la salud, dependiendo de la composición del crudo, estos pueden encontrarse en mayor o menor cantidad (Kathi & Khan, 2011). La intoxicación por hidrocarburos se puede dar por la ingesta, aspiración o contacto con el contaminante (Zhang *et al.*, 2018). Alonso (2012), refiere que, las formas en las que este contaminante puede ingresar a nuestro organismo y sus efectos, son:

- La ingesta de hidrocarburos puede afectar a tres sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso.
- Aspiración, el pulmón es el órgano más vulnerable a la intoxicación por hidrocarburos. Produce una lesión directa de los capilares y el tejido pulmonar.
- El contacto con hidrocarburos produce irritación de la piel y picores, y la piel en este estado facilita la absorción de los componentes del crudo.

Luego de ingresar estos son ampliamente distribuidos por la sangre y se transforman rápidamente en compuestos químicos, pudiendo resultar más dañinos; así como, menos peligrosos, esto está en función de factores como el tipo, composición y la cantidad expuesta de hidrocarburos; la mayoría de los hidrocarburos abandonan el cuerpo a través de la orina o con el aire exhalado (Petrová *et al.*, 2017). Los constituyentes de los hidrocarburos, de bajo peso molecular (benceno, tolueno, xileno) afectan el sistema nervioso central, causan irritación de la piel, dolores de

cabeza, náuseas, hormigueos en manos y pies, cuando la exposición es alta pueden provocar la muerte (Abdel & Mansour, 2016).

### **3.2.3. Efectos de los hidrocarburos en el suelo**

Los hidrocarburos en el suelo impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos, entre ellos evaporación y penetración, que dependen del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida; estos procesos pueden ser lentos, debido a la difusión lenta de los contaminantes, los cuales se redistribuyen por toda la superficie del suelo y hacia el interior de este, lo que ocasiona una mayor toxicidad tanto para microorganismos y las plantas presentes (Restrepo, 2002; Moliterni *et al.*, 2012; Errington *et al.*, 2018b; Gordon *et al.*, 2018).

### **3.2.4. Efecto de los hidrocarburos en las plantas**

Los efectos de los hidrocarburos en las plantas pueden darse de dos formas, 1) por contacto directo, la cual incita la descomposición de la membrana de la célula y su muerte, reduce el intercambio gaseoso, provoca clorosis e inhibe la germinación de la semilla; y 2) de manera indirecta mediante la variación de las condiciones físicas y la fertilidad del suelo (Baker, 1970; Prado *et al.*, 1999). Sin embargo, algunas plantas aprovechan su actividad fisiológica (absorción de agua y compuestos químicos, metabolismo, liberación natural de exudados, impacto físico y bioquímico en el entorno) para modificar el entorno físico en el que viven (Lal, 2002).

Diferentes investigaciones han determinado el efecto de los hidrocarburos en la germinación y crecimiento vegetativo de los distintos tipos de especies, dentro de ellos Benavides & Quintero (2006); Macoustra *et al.* (2015); Schmidt (2000), mencionan que, los hidrocarburos en la flora producen los siguientes daños:

- Efectos negativos en la reproducción y propagación de las plantas.
- Destrucción de las fuentes alimenticias de las especies superiores.
- Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria.
- Pérdida de parajes con valor natural, recreativo o vacacional.
- Limita el paso de la luz y reduce la actividad fotosintética de las plantas, si la mancha las cubre dificulta su función reproductora y la fijación, es decir, necrosis foliar.

### 3.2.5. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos

El tratamiento y recuperación de los suelos contaminados se puede definir como el conjunto de operaciones realizadas con el objetivo de controlar, disminuir o eliminar los contaminantes presentes (Coria, 2007).

Gan *et al.* (2009), describen las estrategias para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos en: físicas, químicas y biológicas.

**Físico-química:** Extracción con disolventes (lavado con agua y disolventes orgánicos, agentes tenso-activos, ciclo-dextrinas, aceite vegetal), extracción con fluidos supercríticos, la extracción con fluido sub-crítico.

**Químico:** Oxidación química con diversos oxidantes (ejemplo, el reactivo de Fenton, el ozono, peróxido-ácido,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , Per-sulfato de sodio), la degradación fotocatalítica y la remediación electrocinética.

**Físicos-Térmicos:** La incineración, desorción térmica, el suelo térmicamente mejorado con la extracción de vapor.

**Biológico:** La biorremediación in situ como la biolabranza y el compostaje, tratamiento aeróbico, anaeróbico y la fitorremediación.

### 3.2.6. Proceso de fitorremediación

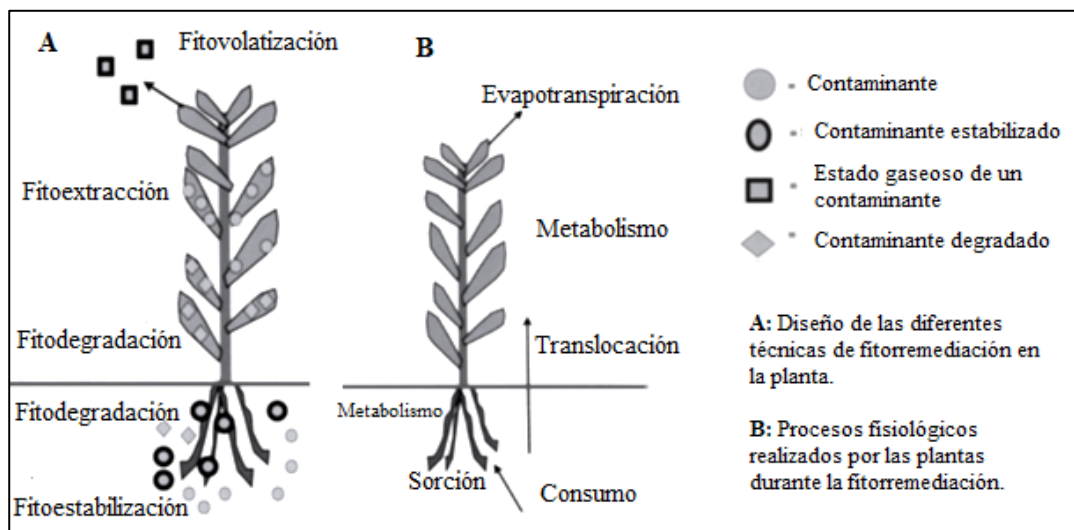
La fitorremediación es una estrategia de remediación, basada en el uso de plantas y sus raíces, asociadas con las bacterias para eliminar, transformar, o asimilar los productos contaminantes ubicados en el suelo, en sedimentos, agua subterránea, aguas superficiales, e incluso de la atmósfera (Li *et al.*, 2012). Según las características del sitio contaminado, la siembra de plantas puede ser la única intervención a bajo precio y eficiente (Peng *et al.*, 2009). Algunas plantas tienen capacidad para tolerar, absorber, acumular y degradar contaminantes tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, ya sea eliminándoles del ambiente o haciéndolos inocuos (Jara *et al.*, 2014; Garbisu *et al.*, 2008). Sin embargo, las plantas utilizan en este proceso diferentes mecanismos tales como: fitoextracción, rizodegradación, fitodegradación y fitoestabilización. Para llevar a cabo cualquiera de estos mecanismos es la sorción (adsorción y absorción) de estos en las raíces. La sorción de hidrocarburos en las raíces de las plantas es importante debido a que los

contaminantes pueden acumularse en el tejido de la planta o metabolizarse, no afectando otros niveles de la cadena trófica (Zurita *et al.*, 2012).

### 3.2.6.1. Mecanismos de la fitorremediación

En fitorremediación, varios mecanismos están presentes y se clasifican según el lugar donde se lleva a cabo el proceso (Figura 2): fitoextracción, rizodegradación, fitoestabilización, fitodegradación y fitovolatilización (Jain *et al.*, 2011).

**Fitoextracción:** Se refiere a la absorción del contaminante por la raíz de la planta, también conocida como fitoacumulación, debido a su capacidad para acumular diferentes compuestos en sus partes de cosecha, y tejidos de hojas y tallos (Glick, 2003; Carpena & Bernal, 2007). Varios estudios muestran que la fitoacumulación es un mecanismo eficiente para eliminar BTEX, solventes clorados e hidrocarburos alifáticos de cadena corta, porque sus KOW (coeficiente octanol-agua) varían entre 1; 0 – 3 y 5 (Schonoor, 1997; Boonsaner, *et al.*, 2011; Wallace & Kadlec, 2005). La principal ventaja de este proceso reside en su implementación, que es de bajo costo si se compara con otras técnicas de remediación y, entre sus desventajas, debe manejarse en concentraciones de contaminantes bajas o moderadas que requieren altos tiempos de acumulación (Spaczyński *et al.*, 2012).



**Figura 2.** Mecanismos de fitorremediación. Adaptado de Greipsson (2011).

**Rizodegradación:** La degradación de los contaminantes orgánicos tiene lugar cerca de las raíces de la planta a través de microorganismos (hongos y bacterias) que son estimulados por las enzimas liberadas de la planta, y no degradan directamente el contaminante, pero a su vez generan proteínas y enzimas que garantizan el crecimiento de hongos y bacterias que lo degradan (Khan *et al.*, 2013; Cameselle *et al.*, 2013). La Rizodegradación en el caso de suelos mejora la calidad y textura, brinda estabilidad y mitiga la erosión generada por el viento y el agua (Gerhardt *et al.*, 2009).

**Fitoestabilización:** Es el uso de las plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes orgánicos e inorgánicos. El contaminante puede ser inmovilizado por la adición de enmiendas al suelo, absorbido por las raíces de las plantas o por las partículas del suelo y precipitarse al área de la raíz, de tal modo dificultar y disminuir migración del contaminante por procesos de erosión del suelo, escorrentía y lixiviación (Kumpiene *et al.*, 2007). Esta técnica de fitorremediación, promueve la restauración y la biodiversidad de los ecosistemas que representan beneficios ecológicos para la producción de cosechas industriales (Schwitzguébel *et al.*, 2011).

**Fitodegradación:** También conocido como fitotransformación, permite la absorción de contaminantes y los transforma en moléculas más simples como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O para luego incorporarlos a los tejidos vegetales y ayudar a su crecimiento (Spaczyński *et al.*, 2012; Conesa *et al.*, 2012). Este proceso es catalizado por las enzimas y proteínas de las plantas con el fin de generar una ruptura en las moléculas contaminantes (Hussain *et al.*, 2018). La fitodegradación se lleva a cabo en tres pasos: i) conversión mediante reacción de oxidación-reducción, ii) conjugación de aminoácidos y azúcar, y iii) incorporación del contaminante a la planta a través de sus orgánulos (vacuola y pared celular) (Kang *et al.*, 2010). Spaczyński *et al.*, (2012) señalan que a pesar de que en las células vegetales generalmente no se produce una degradación completa de los compuestos orgánicos, las plantas utilizan los productos de la biotransformación en otras formas, como la síntesis de aminoácidos.

**Fitovolatilización:** Se basa en la absorción del contaminante que generalmente es de bajo peso molecular para lograr su posterior volatilización a la atmósfera a través de las hojas (Glick, 2003; Gerhardt *et al.*, 2009; Conesa *et al.*, 2012). La fitovolatilización se ha utilizado principalmente para la eliminación de metales pesados como el mercurio, que se transforma en su forma más elemental, que es menos tóxica que la orgánica o inorgánica, pero esta técnica, sin embargo, tiene la desventaja de que el metal liberado en la atmósfera puede regresar a los ecosistemas a través de la precipitación y volver a depositarse (Ghosh & Singh, 2005).

### **3.2.6.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación**

La fitorremediación, muestra una serie de ventajas y desventajas en comparación con otras tecnologías convencionales. Las fitotecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo (Delgadillo *et al.*, 2011). En la Tabla 2 se describen las principales ventajas y desventajas de la fitorremediación.

**Tabla 2.** Ventajas y desventajas de la fitorremediación

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
- In situ, disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o del agua.	- En árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
- Es una tecnología sustentable, eficiente para contaminantes orgánicos e inorgánicos.	- Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo.	- El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
- No requiere consumo de energía, requiere de prácticas agronómicas convencionales.	- En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
- Es poco perjudicial para el ambiente, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, debido a la formación de una cubierta vegetal.	- Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
- Alta probabilidad de ser aceptada por el público, por ser estéticamente agradable, evita la excavación y el tráfico pesado.	- No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
- Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos.	- Se requieren áreas relativamente grandes.
- Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).	

Adaptado de Delgadillo *et al.* (2011)

### **3.3. Definición de términos**

**Prospección:** es un estudio cuyo objetivo es conocer las características físicas, químicas, biológicas e interacciones que se puedan dar en el medio, y analizar la posible presencia de recursos presentes en el área de interés.

**Flora leñosa:** la flora leñosa son plantas vasculares con un tallo perenne, por encima de la superficie del suelo, y cubierto de una capa de espesa corteza.

**Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP):** conjunto de varios hidrocarburos (moléculas que contienen básicamente, carbono (C) e hidrógeno (H)).

## IV. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Diseño de investigación

La investigación es descriptiva, para identificar especies arbóreas que sobreviven en suelos contaminados por hidrocarburos del petróleo y con capacidad de acumularlos, para ser propuestas en sistemas de saneamiento biológico “Fitorremediación”. Que consistió en un solo grupo experimental del cual se obtuvo la información de interés.



Donde:

**G** : grupo experimental

**O** : Observación o información requerida

### 4.2. Población, muestra y muestreo

#### 4.2.1. Población

La población estuvo constituida por la flora leñosa que se encontró la quebrada Inayo, distrito Imaza; en el área de estudio de 2.02 Ha.

#### 4.2.2. Muestra

Plantas seleccionadas en la unidad de muestreo del área con derrames de petróleo, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP  $\geq$  10 cm) y presencia de clorosis.

#### 4.2.3. Muestreo

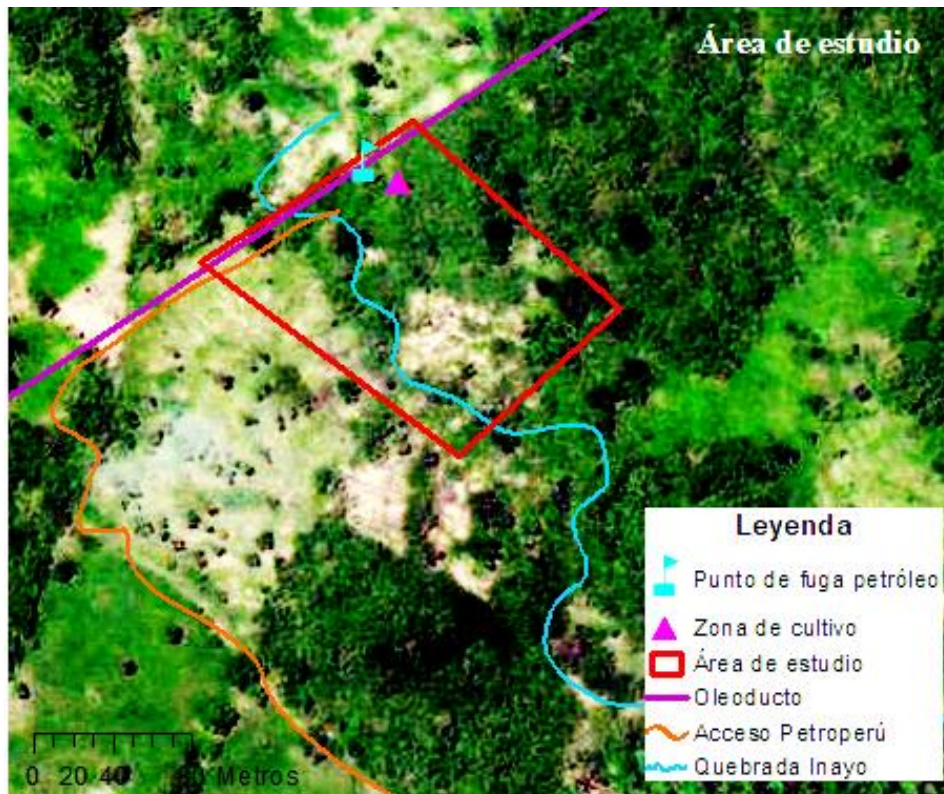
Se realizó muestreo no probabilístico, que dependió del juicio personal investigador, teniendo en cuenta la representatividad de la muestra, lo cual exigió de los investigadores un conocimiento previo de la población.

### 4.3. Zona de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Anexo Inayo, distrito de Imaza - Bagua, Amazonas. Por el cual pasa el Oleoducto Norperuano que transporta petróleo crudo desde la selva peruana hasta el terminal de Bayóvar ubicado en la costa norte del Perú (Anexo 1). El área de estudio se ubica en la margen izquierda de la Quebrada Inayo (Figura 3), afluente del Río Chiriaco, que geográficamente pertenece a la zona 17M,



entre las coordenadas UTM 798597 Este, y 9426431 Norte, en la zona de vida bosque muy húmedo Premontano Tropical (Anexo 2).



**Figura 3.** Área de estudio

El distrito de Imaza, se caracteriza por presentar temperatura promedio anual es 24.9 °C, con precipitaciones de hasta 2 690.9 mm/año; geomorfología de Montañas altas Calcáreas Mesozoicas con elevaciones por encima de los 1 000 m de altitud, relieves de laderas moderadamente empinadas y alargadas, con cimas algo suaves y caprichosas (Gobierno Regional Amazonas & Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, 2010).

El 25 de enero de 2016, en el Km 440+781 del Tramo II del Oleoducto Norperuano (zona de estudio), ocurrió una falla del tubo que transportaba el petróleo, de 36” de diámetro, produciendo una fuga de petróleo crudo (Figura 4), este discurrió e impregnó en el suelo, en las plantas de cacao, plátanos, y vegetación propia de la zona; además, fueron afectadas las áreas aledañas como el cauce y la franja marginal de la quebrada (Nombre desconocido), quebrada Inayo y el río Chiriaco (OEFA, 2016b). Las áreas afectadas por el derrame de petróleo crudo (suelo, vegetación y agua superficial) fueron limpiadas y remediadas por Petroperú desde que ocurrió la emergencia ambiental

(OEFA, 2016c). No obstante, en la actualidad Petroperú continúa con las actividades de limpieza y saneamiento del área afectada por el derrame de petróleo.



**Figura 4.** Punto de fuga del oleoducto norperuano

#### 4.4. Variables de estudio

Las variables de estudio están clasificadas de la siguiente manera:

- Especies vegetales.
- Concentración de HTP en las especies vegetales.

##### 4.4.1. Operacionalización de variables

**Tabla 3.** Operacionalización de variables

		<b>Descripción</b>	<b>Indicador</b>
<b>Variables</b>	Especies vegetales	Especie recolectada y estudiada	Especie
	Concentración de HTP	Cantidad de HTP presente en las plantas estudiadas.	ppm de HTP

#### 4.5. Materiales y equipos

**Tabla 4.** Materiales y equipos empleados para el desarrollo del presente estudio

<b>Materiales - Rubros</b>				
<b>Evaluación de campo</b>	<b>Colección botánica</b>	<b>Secado y prensado</b>	<b>Identificación de muestra</b>	<b>Procesamiento de información</b>
GPS, mapas, machete, zapapico, palana recta, cinta métrica, bolsas herméticas, bolsas de polietileno, plumón, lapiceros, lápices, borradores, fichas y libretas de campo, cámara fotográfica.	Tijera de podar, bolsas de polietileno, frascos herméticos, papel periódico, alcohol de 96°, tijera telescópica, cinta de embalaje.	Papel periódico, cartón, driza, prensa botánica, estufa, sobres manila diferente tamaño.	Fichas de colección, lupa, literatura especializada, etiquetas, información en línea, herbarios virtuales.	Computador portátil, material bibliográfico (Libros y revistas), procesador de texto MS Word, software ArcGIS.

#### 4.6. Metodología

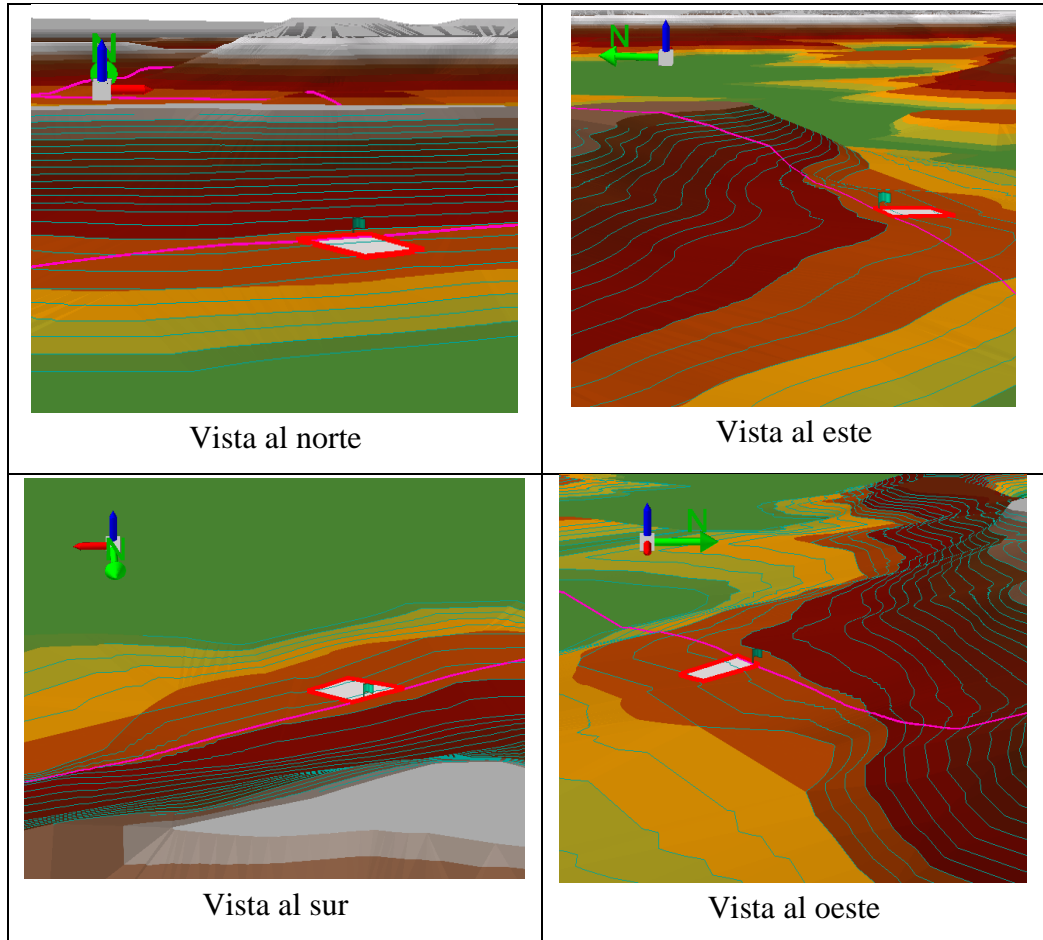
##### 4.6.1. Selección del sitio de muestreo

Para la selección y muestreo del sitio se siguió los criterios utilizados por Ochoa *et al.*, (2011):

- a) Que en el sitio haya ocurrido un derrame de petróleo,
- b) el año de ocurrido el derrame de petróleo,
- c) que los sitios hayan permanecido al menos seis meses del año sin inundación, y que estas áreas seleccionadas tuvieran comunidades vegetales presentes.

Se realizó el reconocimiento visual del área de estudio, para el cumplimiento de los criterios mencionados, teniendo en cuenta: de que se haya ocurrido un derrame de petróleo y el año en el que ocurrió (mayor a seis meses); la pendiente del sitio sea moderada (7%-12%) para descartar que haya sido inundado se generó un

modelo digital del terreno a partir de las curvas de nivel de la Carta Nacional 11g del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) (Figura 5) y adicional a ello elaboró un mapa de pendiente (Anexo 3); y la vegetación arbórea sea representativa, con una distancia máxima de 100 m desde el punto de fuga.



**Figura 5.** Vista en 3D del área de estudio.

Luego se procedió a delimitar el área de estudio con la ayuda de un GPS a través de puntos de control, para poder georreferenciarlas y elaborar los mapas respectivos.

#### **4.6.2. Levantamiento de información**

Luego de seleccionada y delimitada el área de estudio, se procedió a la colecta de muestras de suelo y ejemplares botánicos en paralelo, durante el mes abril de 2017.

##### **4.6.2.1. Colecta de muestras de suelo**

Se colectó dos (02) muestras de suelo (M.S – P1 y M.S – P2) teniendo en cuenta la distribución de las especies vegetales. La excavación se realizó en un área

de 20x20 cm y a una profundidad de 30 cm empleando palana recta (Figura 6), y una tercera muestra cerca al oleoducto (M.S - OLE), estas fueron puestas en bolsas herméticas y con sus respectivos códigos. Y fueron enviadas al Laboratorio de Investigación y Certificaciones–FC–UNI (LABICER FC-UNI) para su respectivo análisis de HTP.



**Figura 6.** Muestreo de suelo a 30 cm de profundidad

#### 4.6.2.2. Colecta de ejemplares botánicos

Se realizó el inventario y se contabilizó todos los árboles adultos con diámetro a la altura del pecho (DAP)  $\geq 10$  cm y/o circunferencia a la altura del pecho (CAP)  $\geq 31.5$  cm, y no tenían deficiencias fisiológicas visibles como clorosis (Anexo 4), dando mayor atención a aquellas establecidas en las áreas contaminadas con petróleo (Figura 7 y 8) para ser consideradas aptas para la investigación, proceso propuesto por Ochoa *et al.*, (2011).



**Figura 7.** Vegetación presente en el área afectada por el derrame de petróleo



**Figura 8.** Inspección visual de características fisiológicas de las plantas

De cada especie se colectó 100 g aproximadamente de su estructura vegetal (raíz, tallo y hoja), ramitas terminales para la respectiva identificación de la especie (Figura 9), para ello se empleó tijera telescópica y tijera de podar. Asimismo, se asignaron códigos a cada muestra, se tomaron notas del nombre común y sus descripciones para cada una de ellas (CAP, tipo de ramificación, inflorescencia, flores, corteza interna y/o externa, altura, edad aproximada, frutos y usos), datos fundamentales para su identificación taxonómica (Anexo 5).



**Figura 9.** Colecta de ramitas terminales

Cada muestra se colocó en papel absorbente (periódico) y se apiló en la prensa botánica junto a todas las muestras, asignando un código de registro diferente para cada especie y por cada muestra (Figura 10).



**Figura 10.** Asignación de códigos a las muestras colectadas

Las muestras de tallo fueron recolectadas a la altura del pecho (1.30 m) con las dimensiones de 3 cm de ancho por 5 cm de largo a una profundidad de 3 a 4 cm; las muestras de raíz se extrajeron al excavar el suelo con un zapapico y cortando 5 cm de largo con la ayuda de un machete.

Finalizada la colecta de muestras, se procedió a acondicionar las muestras y a cambiar el papel periódico con mucho cuidado, doblando las ramitas y hojas de tal forma que estas se ajusten a la prensa botánica (Figura 11); se colocó alcohol de 96° para su preservación de las muestras, luego en prensa botánica y en bolsas de polietileno para su traslado y secado en el laboratorio de Agua y Suelos del INDES-CES (Instituto de Investigación para el Desarrollo de Ceja de Selva - UNTRM).



**Figura 11.** Prensado de las muestras en la prensa botánica

La Figura 13 muestra el mapa de los puntos muestreados (para suelo y especies vegetales).

#### **4.6.1. Preparación de muestras para el análisis de hidrocarburos totales**

Previamente al análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo, se realizó el secado y montaje de las muestras colectadas, siguiendo el procedimiento propuesto por Bridson & Forman (1992), para ello se colocó la prensa con las muestras en una estufa a una temperatura de 90 °C durante tres (03) días (Figura 12), diariamente se cambiaba el papel periódico para el secado completo, evitar la contaminación de las muestras y prevenir el sobre secado.



**Figura 12.** Prensa botánica con muestras en la estufa.

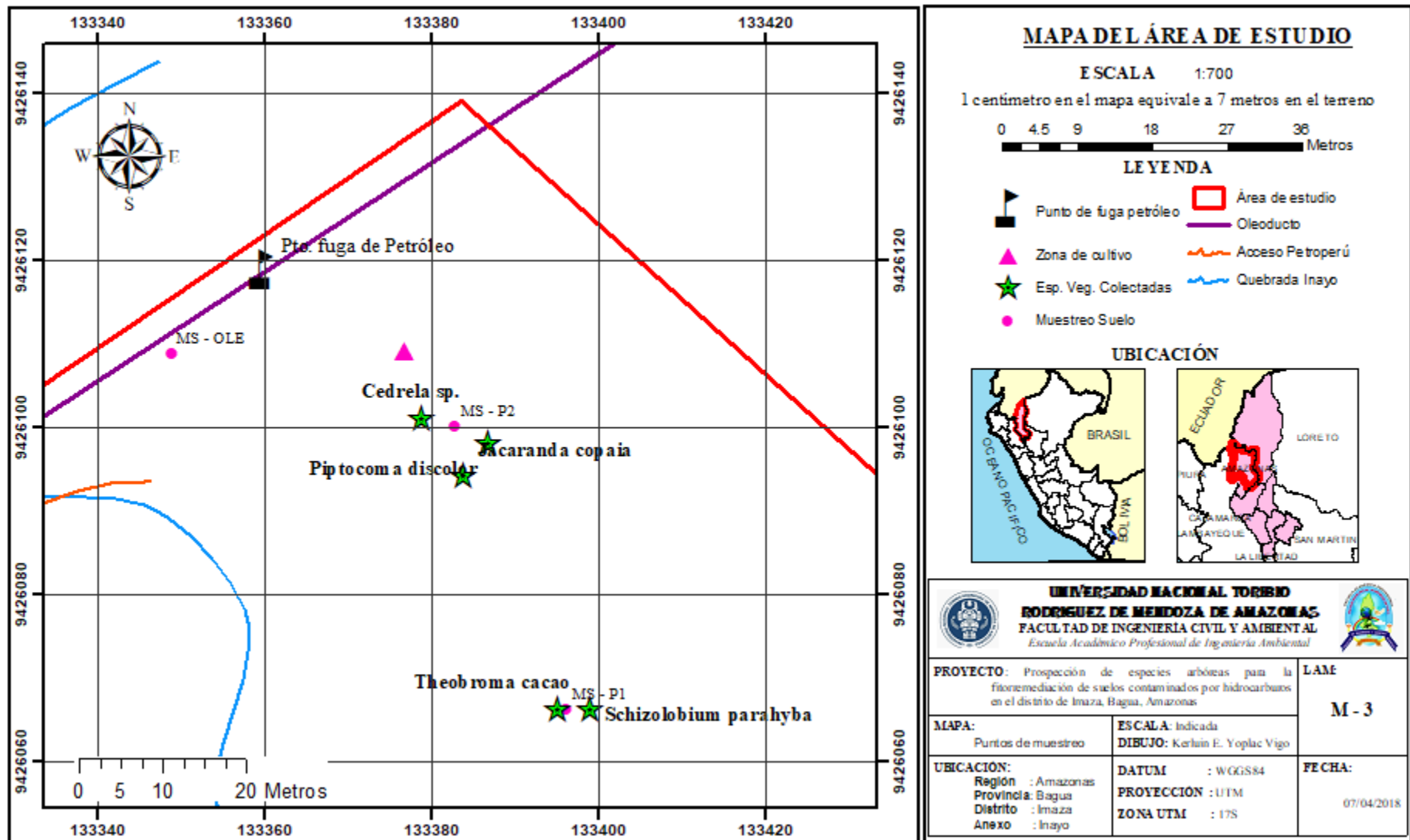


Figura 13. Mapa de las especies recolectadas y muestras de suelo



De las muestras secas se seleccionaron y pesaron 15 g de cada estructura de cada especie (Figura 14), y fueron enviadas al laboratorio LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería, para el análisis de la concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo.



**Figura 14.** Pesado de muestras para enviar al laboratorio para su análisis.

#### **4.6.2. Identificación taxonómica de las especies**

La identificación de las muestras botánicas se realizó con ayuda bibliográfica especializada entre ellas Brako & Zurucchi (1993); Gentry (1996); Pennington *et al.* (2004); Pennington & Sarukhan (1998), entre otras fuentes de literatura y tesis. Cada especie arbórea fue identificada a nivel de familia, género, especie o morfoespecie. Es importante mencionar que la identificación fue respaldada por especialistas del Herbario Forestal (MOL) – Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). La colección contó con tres ejemplares botánicos por cada especie recolectada y se realizó un depósito de los ejemplares en el Herbario Forestal (MOL) de la Facultad de Ciencias Forestales – UNALM.

#### **4.6.3. Descripción de las especies vegetales**

Con el material colectado e identificado se realizaron las descripciones de cada especie. Asimismo, se realizó la búsqueda exhaustiva de información bibliográfica para ayudar a describir las especies, sus técnicas de manejo y uso. Entre las referencias consultadas están Gentry (1993), Reynel *et al.* (1993), Erazo

*et al.* (2014), Hoyos (1992), Mahecha *et al.* (2004), Pittier (1978), López-Camacho & Montero-G (2005) y Mostacero *et al.* (2009).

#### **4.7. Análisis de datos**

Los datos obtenidos en campo fueron organizados, analizados, descritos, y representados en tablas y figuras para su mejor interpretación y síntesis. A los datos obtenidos a nivel de laboratorio se aplicó un tratamiento estadístico, empleando el software Statistix 8.0 para determinar si existe diferencia significativa en la acumulación de HTP, entre las cinco especies y sus estructuras vegetales.

Para el análisis del conjunto de datos (concentraciones totales de HTP), primero se realizó un test de normalidad de Wilk & Shapiro, para determinar si los datos siguen una distribución normal, de ser el caso, se aplicaría una prueba paramétrica ANVA, de lo contrario se aplicaría la prueba no paramétrica de Friedman de doble vía.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Levantamiento de información

Los resultados de la concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) en el suelo se presenta en la Tabla 5, tres muestras de suelo fueron analizadas del área de estudio, y se aprecia que las concentraciones de HTP es evidente en el suelo (1.733 a 6.860 mg/kg) lo cual fue un parámetro favorable para continuar con la investigación de encontrar especies prometedoras para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Los valores de HTP en las muestras de suelo son bajos, es decir se encuentran muy por debajo de lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos (MINAM, 2017); no obstante, los estándares de calidad ambiental para suelo establecen que para HTP, de fracción F1 (C5-C10) para suelos agrícolas, el valor de la concentración no debe superar las 200 mg/kg de HTP, para poder responder a los objetivos del estudio y sobre todo a esas incertidumbres, interrogantes, si las especies que han sobrevivido en el área de derrame del petróleo, están acumulando concentraciones de HTP; de fracción ligera (F1).

**Tabla 5.** Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en muestras de suelo

Código de muestra	Coordenadas UTM (WGS84) Zona (17M)		Concentración (mg/kg suelo seco)
	Este	Norte	
M.S – P1	0798644	9426388	6.860
M.S – P2	0798631	9426422	1.733
M.S - OLE	0798597	9426431	3.476

De las especies establecidas en el sitio, ninguna presentaba ningún tipo de deficiencia nutricional evidente o crecimiento anormal. Se encontraron y al mismo tiempo se determinaron cinco especies, consideradas silvestres (Tabla 6). Estas especies: *Piptocoma discolor* (Anexo 6 A), *Theobroma cacao* (Anexo 6 B), *Jacaranda copaia* (Anexo 6 C), *Cedrela* sp. (Anexo 6 D), y *Schizolobium parahyba* (Anexo 6 E), recibieron directamente hidrocarburos del petróleo y su presencia en el sitio era evidente, con biomasa aprovechable para un mejor manejo en un sistema de saneamiento biológico del suelo, utilizando la técnica fitorremediación.

**Tabla 6.** Listado de especies identificadas en el área de estudio

Familia	Nombre	
	Científico	Común
ASTERACEAE	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski	Yucate
MALVACEAE	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacao
BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	Vela
MELIACEAE	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro
FABACEAE	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Plumilla

### 5.2.Descripción de las especies presentes en el área de estudio

Como parte de esta investigación, se describieron las especies presentes en el área afectada por el derrame de petróleo (Tabla 7), la información fue tomada de fuentes secundarias.

**Tabla 7.** Descripción de las especies en el área de estudio

Nombre científico	Descripción
<i>Piptocoma discolor</i>	<p>Árbol de 15-30 m de altura total y de 25-60 cm de diámetro, con fuste cilíndrico, base del fuste recta. Corteza externa lenticelada color marrón verdusco, levemente agrietada, lenticelas blanquecinas, en hileras verticales. Corteza interna blanquecina, muy notorias. Ramitas terminales densamente pubescentes (Gentry, 1993).</p> <p>Hojas simples, alternas y dispuestas en espiral, agrupadas al extremo de las ramitas, de 12-16 cm de longitud y 3-7 cm de ancho, el peciolo de 1-3 cm de longitud, las láminas elípticas a ovadas, enteras a levemente sinuadas, el ápice agudo y cortamente acuminado, la base aguda, hojas finas y densamente pubescentes en el envés (Gentry, 1993).</p> <p>Flores pequeñas, de 7-9 mm de longitud, hermafroditas, con cáliz y corola presentes, el cáliz de 1-2 mm de longitud, cupuliforme, 5-dentado, la corola de 5-6 mm de longitud, tubular, 5-dentada, los estambres 5, epipétalos cerca del ápice de la corola; gineceo con ovario</p>

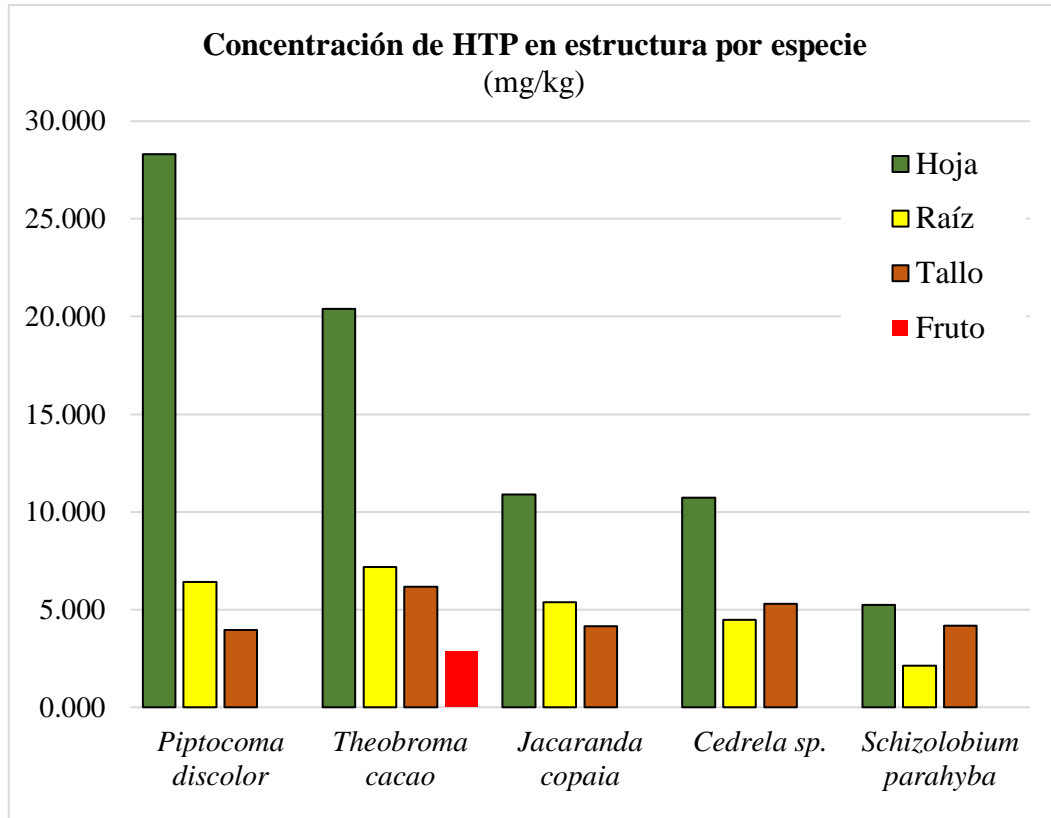
	<p>ínfero, unilocular. Frutos pequeños aquenios de unos 2 mm de longitud, de color pajizo, rodeados por las escamas florales persistentes (Gentry, 1993; Reynel <i>et al.</i>, 2003).</p> <p>Se utiliza para hacer materiales de construcción permanentes (casas) y materiales de embalaje para envíos cajas para el transporte de frutas y vegetales (Erazo <i>et al.</i>, 2014).</p>
<p><i>Theobroma cacao</i></p>	<p>Árbol pequeño, siempre verde, de 3 a 6 m de alto, hasta 10 m, tronco corto de hasta 20 cm de diámetro; corteza de color gris, ligeramente fisurada, volviéndose gruesa y áspera con el tiempo (Hoyos, 1992).</p> <p>Hojas sencillas, alternas, aovado-acorazonadas, agudas o acuminadas en el ápice, enteras, glabras, de 5 a 10 cm de largo, por 3 a 16 cm de ancho, verde oscuro lustroso en la cara superior y más claro en la inferior, con 7 nervios principales que salen de la base, estípulas lineares, deciduas, de 5 mm de largo, glándulas 2 en la base de las hojas, pecíolos de 5 a 10 cm de largo. Flores solitarias, amarillas, con un color rojizo purpúreo en la base, con el tiempo se tornan rosadas y finalmente purpúreas, miden de 4 a 7 cm de largo. Frutos capsulares, globosos, de 3 a 4 cm de diámetro, glabros, verdosos cuando jóvenes, y negruzcos al madurar, permanecen durante largo tiempo en el árbol (Hoyos, 1992).</p> <p>Esta especie alimenticia tiene múltiples usos medicinales (Pittier, 1978).</p>
<p><i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don</p>	<p>Árbol caducifolio, alcanza los 25m de altura y 80cm de diámetro en su tronco, su corteza es de color pardusco, lisa y fisurada, copa de forma cónica, sus hojas miden hasta 1m de largo, opuestas y poseen foliolos de 5 cm de largo por 3cm de ancho, de borde entero (Mahecha <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Las flores son de color púrpura asimétricas y de forma acampanulada; frutos de hasta 15 cm de largo, en forma de cápsulas elipsoidales con varias semillas aladas, opacas y membranosas; especie de rápido crecimiento y requiere de abundante luz solar (Mahecha <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Su madera sirve en la carpintería para la elaboración de cajas, palillos y pulpa para papel. Especie apropiada para sembrar en parques y separadores viales y en recuperación de suelos (Mahecha <i>et al.</i>, 2004).</p>

<p><i>Cedrela</i> sp.</p>	<p>Árbol de 20 a 30 m de altura; tronco recto, ligeramente engrosado en la base, de 1 a 1.5 m de diámetro a la altura del pecho, corteza externa agrietada, color marrón, cenizo, claro, corteza interna exfoliable irregularmente en placas de color rosado y crema pálido con característico y tenue olor a ajos (López-Camacho &amp; Montero-G, 2005). Hojas compuestas paripinnadas, también imparipinnadas, alternas o subopuestas, espaciados unos 3-4 cm entre sí; la copa es frondosa y redondeada; las flores son pequeñas y perfumadas de color crema y unisexuales. Frutos capsulas elipsoides de 3 a 5 cm de color marrón claro y cubierta de lenticelas blanquecinas (Mahecha <i>et al.</i>, 2004). Es empleado en la carpintería, instrumentos musicales (guitarras) y artesanías. Es una de las maderas más importantes del mundo ( (López-Camacho &amp; Montero-G, 2005).</p>
<p><i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake</p>	<p>Árbol de 20-60 cm de diámetro y 6-15 m de alto, fuste recto a irregular. Corteza externa agrietada de color marrón claro, la corteza interna homogénea, de color crema. Ramitas terminales lisas y lenticelas. Hojas compuestas, opuestas y bipinnadas, peciolo de 4-7 cm de longitud, ápice agudo a obtuso, mucronado, base aguda, inequilátera, nervios secundarios de 8-12 pares, raquis acanalado, hojas glabras (Mahecha <i>et al.</i>, 2004). Flores de 2 cm de largo, tienen 5 pétalos amarillos y 10 estambres libres y desiguales perfumadas. Fruto alargado de 10 cm de largo por 3.5 cm de ancho y, forma obovado espatulada. Semillas color gris, aplanadas, miden 1.5 cm de largo en forma elipsoidal (Mahecha <i>et al.</i> 2004).</p>

### 5.3. Concentración total de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras vegetales por especie

Los resultados del análisis de concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras (hoja, raíz, tallo) de las especies colectadas (Anexo 7) que sobrevivieron al derrame de petróleo y con significativa presencia en el sitio, tenían mayor biomasa aprovechable para un mejor manejo en un sistema de fitorremediación, presentaron concentraciones de HTP, entre 5.231 a 28.306 mg/kg en las hojas; de 2.115 a 7.171 mg/kg

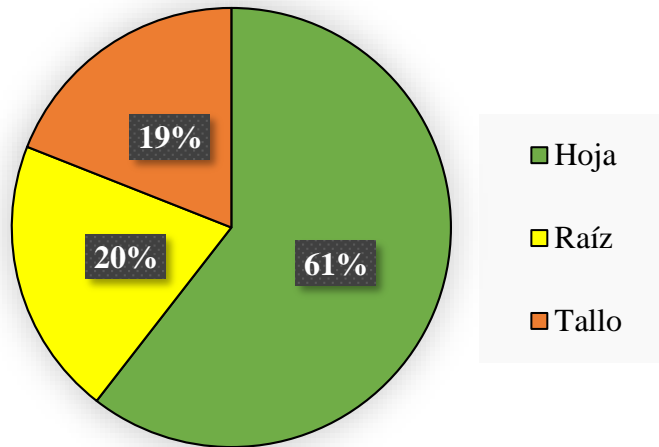
en sus raíces y 3.961 a 6.162 mg/kg en sus tallos (Figura 15 y Anexo 8); no obstante, es importante mencionar que, de las cinco especies estudiadas, solo a una especie se le encontró fruto (*Theobroma cacao*) y este presenta una concentración de HTP (2.863 mg/kg).



**Figura 15.** Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en las estructuras vegetales de cada especie.

De las especies analizadas, solo las especies *Piptocoma discolor* y *Theobroma cacao* presentan mayor acumulación de HTP; esta acumulación es notable en las hojas de las plantas, como se aprecia en la Figura 16; por lo tanto, estas son especies potenciales para su implementación dentro de un sistema de fitorremediación. No obstante, es importante acotar, que estas especies *Piptocoma discolor* y *Theobroma cacao* solo son especies potenciales que, en un futuro, en estudios más avanzados, detallados y experimentales, podrían ser consideradas como fitorremediadoras, de acuerdo a los esfuerzos que estas expongan.

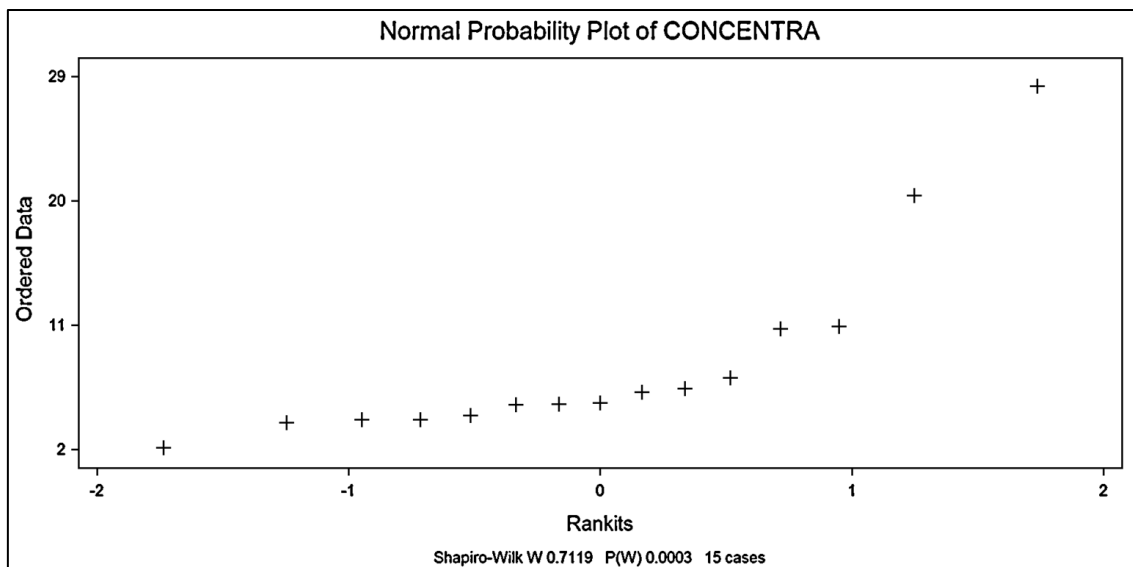
### Concentración de HTP en estructuras vegetales



**Figura 16.** Porcentaje de concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras vegetales

#### 5.4. Tratamiento estadístico de la concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo

Se realizó la prueba de Wilk & Shapiro, para comprobar si los resultados de concentración de las estructuras de hoja, raíz y tallo, se ajustan a una distribución normal. La prueba arrojó el valor probabilístico ( $p = 0.0003$ ) menor a  $p = 0.01$ , lo cual indica que, los datos no siguen una distribución normal (Figura 17). Dado que los datos no siguen una distribución normal y no se puede aplicar una prueba paramétrica, se aplicó la prueba de Friedman de doble vía para datos no paramétricos.



**Figura 17.** Prueba de Wilk & Shapiro para normalidad



La prueba de Friedman de dos vías determina: 1) diferencia significativa de la concentración entre especies y 2) diferencia significativa en la concentración de HTP entre las estructuras vegetales (hoja, raíz, tallo).

La prueba de Friedman arroja el rango de concentración de HTP por especie, entre los cuales no existe diferencia, lo que significa que no existe diferencia significativa entre las cinco especies silvestres estudiadas para la acumulación de Hidrocarburos Totales del Petróleo en sus estructuras (Tabla 8).

**Tabla 8.** ANOVA no paramétrico bidireccional de Friedman para “Concentración = Especie”

<b>Especie</b>	<b>Rango</b>	<b>Tamaño</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	3.33	
<i>Theobroma cacao</i>	4.67	
<i>Jacaranda copaia</i>	2.67	3
<i>Cedrela sp.</i>	2.67	
<i>Schizolobium parahyba</i>	1.67	

Nota: Friedman Statistic = 5.8667; P-value, Chi-Squared Approximation = 0.2093; Degrees of Freedom = 4.

Mientras que la concentración de HTP en las estructuras vegetales (hoja, raíz, tallo) de las cinco especies silvestres estudiadas, muestra que existe diferencia significativa para estas estructuras en la acumulación de HTP (Tabla 9); siendo la hoja la estructura vegetal que mayor acumula HTP, seguidas por la raíz y finalmente el tallo (Figura 16).

**Tabla 9.** ANOVA no paramétrico bidireccional de Friedman para “Concentración = Estructura”

<b>Estructura</b>	<b>Rango</b>	<b>Tamaño</b>
Hoja	3.00	
Raíz	1.60	5
Tallo	1.40	

Nota: Friedman Statistic = 7.6000; P-value, Chi-Squared Approximation = 0.0224; Degrees of Freedom = 2

## VI. DISCUSIÓN

Este trabajo de investigación, se realizó luego de un año de ocurrido el derrame de petróleo. Las concentraciones mínimas y máximas de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) en el suelo muestreado fueron de 1.733 y 6.860 mg/kg de HTP, a una profundidad de 30 cm (Tabla 5), estos resultados se asemejan a los resultados del informe del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) reportando una concentración <5.00 mg/kg de HTP, en la supervisión realizada del 09 al 10 de agosto de 2016, cuando Petroperú realizaba actividades de remediación del sitio (OEFA, 2016c), pero aun así, se observó la afectación de la vegetación presente en el sitio. La concentración de HTP por sí sola, no es un indicador de toxicidad a la biota del suelo, ya que los HTP no indican la biodisponibilidad, ni la toxicidad de los hidrocarburos presentes (Errington *et al.*, 2018a; Jiang *et al.*, 2016). La concentración de HTP encontrada en el área evaluada tampoco supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas según la normativa peruana (200 mg/kg de HTP); sin embargo, la sola presencia de HTP en el suelo influye en las propiedades físicas y químicas, además provoca cambios importantes en la biota presente, que afecta principalmente a las capas que están directamente expuestas al contaminante (Errington *et al.*, 2018a; Castellanos *et al.*, 2015).

Los resultados bajos de las concentraciones de HTP en los suelos, no sólo se pueden explicar por la remediación del sitio, sino también por los diversos procesos de intemperización, a los cuales son sometidos los contaminantes como la disolución, esparcimiento, dispersión, hundimiento y evaporación (Al-Majed *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2014). La evaporación de las fracciones más volátiles se produce rápidamente después de ocurrido el derrame, dejando atrás compuestos de peso molecular más persistentes y más pesados (Atlas, 1981). Por otro lado, los hidrocarburos de alto peso molecular caracterizados por su baja solubilidad acuosa y baja biodisponibilidad, ofrecen resistencia a la degradación (Alagić *et al.*, 2015). La baja biodisponibilidad es causada por la sorción del contaminante a las partículas del suelo, reduciendo la disponibilidad (Cachada *et al.*, 2018; Fernández *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016). Por estas características se denominan contaminantes orgánicos persistentes (COP), y representan una grave amenaza para la salud humana y ambiental (Varjani, 2017).

Con el tiempo la contaminación por hidrocarburos se reduce significativamente, sin embargo, los efectos negativos e hidrofobicidad del suelo persisten por mucho más tiempo sobre el flujo de agua, desencadenando varios daños fisiológicos sobre las plantas expuestas a altas concentraciones (Vázquez *et al.*, 2010; Nothers *et al.*, 2017). Estas consecuencias son visibles en el área de estudio, donde la afectación de la contaminación por hidrocarburos del petróleo lo demuestra la vegetación estudiada al compararlas con las áreas contiguas (suelos sin contaminación), debido al daño extenso y/o permanente a los ecosistemas (Chandra *et al.*, 2013; Moliterni *et al.*, 2012), como disminución de la diversidad de comunidades de plantas (Arellano *et al.*, 2017).

En el área de estudio las especies arbóreas son muy reducidas, se encontraron cinco (05) especies de plantas pertenecientes a cinco familias establecidas en suelos directamente contaminados con hidrocarburos del petróleo. Estos contaminantes inhiben el crecimiento de brotes y la germinación de las plantas; la germinación y el crecimiento de la raíz se ve afectada por la resistencia mecánica del suelo a la penetración, lo que se evidencia en la baja densidad de los árboles jóvenes que es menor, que en las áreas vecinas no contaminadas (Macoustra *et al.*, 2015; Nothers *et al.*, 2017; Gordon *et al.*, 2018). Sin embargo, las familias de especies de plantas identificadas se adaptaron al suelo contaminado y contribuyen a la degradación de los hidrocarburos. Las especies de plantas que se encuentran en el sitio contaminado reducen los HTP (Errington *et al.*, 2018b). Diferentes autores reportaron 129 especies de plantas, de 47 familias botánicas, empleadas para degradar diversos hidrocarburos del petróleo; estas especies de plantas crecen y aceleran la degradación de este contaminante, y las especies identificadas en el área de estudio pertenecen a estas familias Asteraceae, Meliaceae, Malvaceae, Bignoniaceae y Fabaceae, reportados por Panchenko *et al.*, 2017; Kaur *et al.*, 2017; Arellano *et al.*, 2017; Chan *et al.*, 2013; Ochoa *et al.*, 2011.

Las cinco especies identificadas en el área de estudio, tienen gran ventaja debido a su adaptabilidad innata al clima y las condiciones del suelo, así pueden colonizar el suelo contaminado por ser más resistentes, y soportar altas concentraciones de contaminantes orgánicos sin sufrir daños evidentes (Panchenko *et al.*, 2017; Gerhardt *et al.*, 2009; Schonoor, 1997), estas características son ideales para remediar áreas contaminadas evitando problemas de adaptación e invasión (Schwitzguébel *et al.*, 2011). Las plantas para absorber hidrocarburos del petróleo emplean diversos mecanismos como las

membranas y paredes celulares de las raíces, luego de absorbidos los contaminantes, estos pueden difundirse gradualmente en fracciones subcelulares de tejidos (orgánulos) (Kang *et al.*, 2010; Collins *et al.*, 2006; Baynes *et al.*, 2000).

Las especies de plantas identificadas difieren en su tolerancia y absorción de los contaminantes de hidrocarburos, como dan a conocer los resultados encontrados, tanto en las diferentes especies, así como en las estructuras vegetales analizadas (raíz, tallo, hoja y fruto) (Figura 15); por lo tanto, es esencial seleccionar e identificar las especies más tolerantes y las más adecuadas para situaciones específicas ya que existe una gran variabilidad en el tipo de suelo, historia de contaminantes, condiciones climáticas y estado nutricional de sitios contaminados (Kaur *et al.*, 2017). Para determinar las especies hiperacumuladoras y/o acumuladoras de este contaminante se analizó la concentración de HTP en sus estructuras raíz, tallo, hoja y fruto, porque allí se almacenan y/o degradan los contaminantes (Barceló & Poschenrieder, 2003; Rascio *et al.*, 2011).

Las cinco especies vegetales analizadas reportaron concentraciones mayores de HTP en las hojas, que es característico de las plantas fitoextractoras, las cuales tienen la mayor concentración del contaminante en la parte aérea, es decir en hojas y tallo (Covarrubias & Peña, 2017; Peralta & Volke, 2012), además, las concentraciones de HTP en suelos son menores en comparación con las concentraciones de HTP obtenidas en las cinco especies vegetales, indicando que las especies estudiadas son acumuladoras de este contaminante, debido a que las plantas acumuladoras tienen mayor concentración del contaminante en sus estructuras, comparada con la concentración del contaminante del suelo donde estas están establecidas (Covarrubias & Peña, 2017); además, la concentración del contaminante en la parte aérea de la planta (tallo y hojas), en especial en las hojas, se debe a la mayor actividad metabólica, y el almacenamiento de los nutrientes en estas estructuras (Raven *et al.*, 1992). Las especies *Piptocomoa discolor*, *Theobroma cacao* y *Jacaranda copaia* tienen mayor concentración de HTP en su raíz, las concentraciones fueron comparadas con la concentración de HTP en el suelo, y se evidencia un comportamiento de plantas fitoestabilizadoras (Jara *et al.*, 2014). Sin embargo, se desconoce los resultados de concentración de HTP en las plantas, en el caso que el análisis de suelo hubiera reportado altas concentraciones de HTP, como por ejemplo por encima de los ECA para suelos.

*Piptocoma discolor*, conocida con el nombre común “Yucate”, pertenece a la familia Asteraceae, la cual presenta mayor concentración de HTP en sus estructuras, siendo la hoja, la estructura con mayor concentración 28.306 mg/kg de HTP, seguido de la raíz y el tallo con 6.421 mg/kg y 3.961 mg/kg de HTP respectivamente (Anexo 8). La concentración de contaminantes en estas estructuras, es una característica de las especies hiperacumuladoras y acumuladoras (Delgadillo *et al.*, 2011), que son consideradas especies fitoextractoras, por tener la mayor concentración de Hidrocarburos Totales Petróleo (contaminante) en la parte aérea (Covarrubias *et al.*, 2017; Jara *et al.*, 2014; Peralta & Volke, 2012). Además, partiendo de la filogenia, para la identificación de especies con potencial biorremediador, la familia de las Asteraceae crece en sitios contaminados con hidrocarburos del petróleo (Anoliefo *et al.*, 2006; Henner *et al.*, 1999; Olson & Fletcher, 2000; Gudin & Syrratt, 1975; Robson *et al.*, 2004; Panchenko *et al.*, 2017; Kaur *et al.*, 2017).

*Theobroma cacao* (cacao) pertenece a la familia Malvaceae, es la segunda en tener la mayor acumulación de HTP en la hoja con 20.392 mg/kg de HTP, además es la especie con mayor concentración en sus estructuras tallo y raíz comparada con las otras especies identificadas (6.162 y 7.171 mg/kg de HTP, respectivamente); asimismo tiene una concentración de 2.863 mg/kg de HTP en su fruto. La concentración de contaminantes en estas estructuras, es una característica de las especies hiperacumuladoras y acumuladoras, que son consideradas especies fitoextractoras, por tener la mayor concentración HTP (contaminante) en la parte aérea (Covarrubias *et al.*, 2017; Jara *et al.*, 2014; Peralta & Volke, 2012; Delgadillo *et al.*, 2011). Especies de familia Malvaceae crecen en sitios contaminados con hidrocarburos del petróleo, partiendo de la filogenia, estas tienen potencial biorremediador, (Kaur *et al.*, 2017; Anoliefo *et al.*, 2006). No obstante, *Theobroma cacao* es un árbol frutal, y el alimento básico para la industria del chocolate, además, en menores demandas la industria farmacéutica, cosmética y otros derivados (Alexandre *et al.*, 2015). La presencia de HTP en los suelos repercuten en la agricultura de la zona, siendo necesaria la fitorremediación para evitar afectar otros niveles de la cadena trófica (Bravo, 2005; Zurita & Escalante, 2012).

*Jacaranda copaia*, conocida con el nombre común “Vela”, pertenece a la familia Bignoniaceae, esta especie presentó concentraciones de 10.898; 5.386 y 4.145 mg/kg de HTP en sus estructuras (hoja, raíz y tallo, respectivamente); y de acuerdo a su filogenia,

puede ser considerada como una especie acumuladora de HTP, debido a que especies de la familia Bignonaceae crecen en suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo (Anoliefo *et al.*, 2006).

*Cedrela* sp. (Cedro), especie perteneciente a la familia Meliaceae, obtuvo concentraciones en las hojas de 10.729 mg/kg, en tallo 5.294 mg/kg y 4.474 mg/kg de HTP en la raíz. Diversos investigadores (Ochoa *et al.*, 2011; Chan *et al.*, 2013) consideran a *Cedrela odorata* una especie tolerante a hidrocarburos del petróleo, por estar establecidas en sitios con este contaminante (con 42 000 mg/kg de HTP). Por tanto, *Cedrela* sp. es una especie con potencial para la reforestación en zonas degradadas de selva; en su distribución natural no es posible encontrar árboles de gran altura y buena forma debido a la gran explotación a la que ha estado sujeta durante más de 200 años (Perozo *et al.*, 2003).

*Schizolobium parahyba*, conocida en la zona con el nombre “Plumilla” presenta menor concentración de HTP en sus estructuras que el resto de las especies, esta especie puede ser de aquellas capaces de sobrevivir en suelos contaminados, pero no acumulan en cantidad considerable el contaminante (González *et al.*, 2008), se puede considerar como una especie excluyente debido a que su acumulación del contaminante en su estructura es menor a la concentración del suelo (Llugany *et al.*, 2007). Por otro lado, filogénicamente, *Schizolobium parahyba* pertenece a familia Fabaceae, consideradas con gran potencial para ser fitorremediadoras (Anoliefo *et al.*, 2006; Olson & Fletcher, 2000; Gudin & Syrratt, 1975); además, es una especie nativa de la zona de estudio, característica muy importante para restauración de ecosistemas degradados (Schwitzguébel *et al.*, 2011).

## VII. CONCLUSIONES

A partir del análisis cuantitativo de Hidrocarburos Totales del Petróleo y evaluación de los caracteres morfológicos y fisiológicos de las especies, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Se identificaron cinco especies en el área afectada por el derrame de petróleo: *Piptocoma discolor* (Asteraceae), *Theobroma cacao* (Malvaceae), *Jacaranda copaia* (Bignoniaceae), *Cedrela* sp. (Meliaceae), y *Schizolobium parahyba* (Fabaceae). Asimismo, estas especies son características de familias que crecen en suelos contaminados por derrames de petróleo y con altas concentraciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo.
2. El análisis cuantitativo, del análisis de Hidrocarburos Totales del Petróleo de fracción F1 (C5-C10) en las especies seleccionadas, nos declaran que la especie *Piptocoma discolor* es la que presenta mayor concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las hojas (28.306 mg/kg) y, la especie con mayor concentración en su estructura (raíz y tallo) es *Theobroma cacao* (7.171 y 6.162 mg/kg respectivamente).
3. El análisis estadístico realizado afirma que las cinco especies están acumulando Hidrocarburos Totales del Petróleo, y tienen un comportamiento igual, es decir, ninguna de las especies tiene ventaja sobre la otra; por lo tanto, no se determinó superioridad entre las especies respecto a la acumulación de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP).
4. De las cinco especies evaluadas, *Theobroma cacao* fue la única especie que presentó fruto, y el análisis reportó 2.863 mg/kg de HTP. Asimismo, esta especie evaluada fue colectada del área agrícola afectada por el derrame de petróleo. No obstante, se desconoce el riesgo a la salud humana en el caso de consumir los frutos de *Theobroma cacao*, debido a que la concentración de HTP no mide la toxicidad de los hidrocarburos presentes, además que esta concentración no supera los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos agrícolas D.S. N° 011-2017-MINAM.

## VIII. RECOMENDACIONES

El estudio se limita en afirmar que, las especies analizadas y encontradas en el área afectada por el petróleo sean fitorremediadoras, hasta que estas sean sometidas a estudios más avanzados, para determinar la especie fitorremediadora que ayude a la conservación y manejo de los recursos naturales. Tanto en las áreas afectadas por derrames de petróleo y contaminados por metales pesados, por ello se recomienda:

- El sitio afectado corresponde a suelos agrícolas asociadas con cacao, plátano y pastos, por lo tanto, se debe conservar y de ser posible cultivar las especies vegetales identificadas, para ayudar a la degradación natural de los hidrocarburos.
- Realizar una caracterización de suelos y acuíferos afectados, para determinar la profundidad a la que se encuentra el contaminante, las concentraciones y tipos de hidrocarburos presentes en el sitio, este último es necesario para determinar la toxicidad y el grado de peligrosidad del hidrocarburo en caso de la ingesta de alimentos que crecen en este suelo, y sus posibles efectos en salud humana.
- Realizar estudios a nivel de laboratorio la germinación y sobrevivencia de las especies arbóreas encontradas, para validarlos cómo fitorremediadoras.
- Realizar investigaciones más a fondo para determinar las interacciones que se pueden llevar a cabo entre las plantas y microorganismos presentes en el área, y también los mecanismos de las plantas para degradar o almacenar HTP.
- A las autoridades locales, regionales, entre otras, implementar mecanismos, que ayuden a la conservación y manejo de los recursos naturales.
- A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza implementar laboratorios con equipos y reactivos que permitan cuantificar contaminantes de suelos y sedimentos. Esto permitiría reducir los altos costos de análisis de laboratorio para cuantificar las concentraciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo en las estructuras de las plantas y suelos que si fueron una limitante.



## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Shafy, H., & Mansour, M. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 572-580. doi:10.1016/j.ejpe.2015.03.011
- Acosta, F. (2015). *Guía para la planeación de proyectos de caracterización y remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Tesis, México, D.F.
- Alagić, S. Č., Maluckov, B. S., & Radojičić, V. B. (2015). How can plants manage polycyclic aromatic hydrocarbons? May these effects represent a useful tool for an effective soil remediation? A review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(3), 597-614.
- Alexandre, R., Chagas, K., Marques, H., Costa, P., & Cardoso, J. (2015). Caracterização de frutos de clones de cacauzeiros na região litorânea de São Mateus, ES. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 19(8), 785-790.
- Al-Majed, A. A., Adebayo, A. R., & Hossain, M. E. (2012). A sustainable approach to controlling oil spills. *Journal of Environmental Management*, 113, 213-227.
- Alonso, R. (2012). *Proyecto de recuperación de suelos contminados por hidrocarburos*. Cerdanyol del Vallés.
- Anoliefo, G., Ikhajiagbe, B., Okonofhua, B., & Diafe, F. (2006). Eco-taxonomic distribution of plant species around motor mechanic workshops in Asaba and Benin City, Nigeria: Identification of oil tolerant plant species. *African Journal of Biotechnology*, 5(19), 1757-1762. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-33751239454&origin=inward&txGid=72ef4f21957d5493ea360ad15c3f5429>
- Arellano, P., Tansey, K., Baizter, H., & Tellkamp, M. (2017). Plant Family-Specific Impacts of Petroleum Pollution on Biodiversity and Leaf Chlorophyll Content in the Amazon Rainforest of Ecuador. *PLoS ONE*, 12(1). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169867>
- Arthur, E., Rice, P., Anderson, T., Baladi, S., Henderson, K., & Coats, J. (2005). Phytoremediation-An Overview. *Crit. Rev. Plant Sci*, 24, 109-122.

- Atlas, R. (1981). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective. *Microbiological Reviews*, 45(1), 180-209.
- Baker, J. (1970). The effect of oils in plants. *Environment pollution*, 1(1), 27-44. doi:[https://doi.org/10.1016/0013-9327\(70\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0013-9327(70)90004-2)
- Balba, M., Al-Awadhi, N., & Al-Daher, R. (1998). Bioremediation of oil-contaminated soil : microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *Journal of Microbiological Methods*, 32, 155-164.
- Bamforth, S., & Singleton, I. (2005). Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Current knowledge and future directions. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 723-736.
- Baoune, H., El Hadj-Khelil, A., Pucci, G., Sineli, P., Loucif, L., & Polti, M. A. (2018). Petroleum degradation by endophytic *Streptomyces* spp. isolated from plants grown in contaminated soil of southern Algeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 602-609. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.013>
- Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2003). Phytoremediation: Principles and perspectives. *Contributions to Science*, 2, 333-334.
- Baynes, R. E., Brooks, J. D., & Riviere, J. E. (2000). Membrane transport of naphthalene and dodecane in jet fuel mixtures. *Toxicology and Industrial Health*, 16(6), 225-238. doi:<https://doi.org/10.1177/074823370001600603>
- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A. L., Jaimes, D. C., Gutiérrez, S. M., & Miranda, J. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA - Publicación Científica*, IV(5), 82-90.
- Boonsaner, M., Borrirukwisitsak, S., & Boonsaner, A. (2011). Phytoremediation of BTEX contaminated soil by *Canna×generalis*. *Ecotoxicology and*, 74(6), 1700-1707.
- Brako, L., & Zurucchi, J. (1993). Catalogue of the flowering plants and Gimnosperms of Peru. *Monogr. Syst. Bot.*(45), 1286.
- Bravo, E. (2005). Impactos de la explotación petrolera en América Latina. *Biodiversidad*, 43(1), 1-9.

- Bridson, D., & Forman, L. (1992). The Herbarium Handbook. *The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens*, 93.
- Buendía, H., Cruz, F., Meza, C., & Arévalo, Z. (2014). Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *Ciencias Sociales*, 1, 113-121.
- Cachada, A., Coelho, C., Gavina, A., Dias, A., Patinha, C., Reis, A., . . . Pereira, R. (2018). Availability of polycyclic aromatic hydrocarbons to earthworms in urban soils and its implications for risk assessment. *Chemosphere*, 191, 196-203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.013>
- Cameselle, C., Chirakkara, R., & Reddy, K. (2013). Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: Status and opportunities. *Chemosphere*, 93(4), 626-636.
- Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16.
- Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, J. M. (2015). Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo ( TPH ) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11-17.
- Cébron, A., Cortet, J., Criquet, S., Biaz, A., Calver, V., Cauper, C., . . . Leyval, C. (2011). Biological functioning of PAH-polluted and thermal desorption-treated soils assessed by fauna and microbial indicators. *Research in Microbiology*, 162(9), 896-907.
- Chandra, S., Sharma, R., Singh, K., & Sharma, A. (2013). Application of bioremediation technology in the environment contaminated with petroleum hydrocarbon. *Annals of Microbiology*, 63(2), 417-431. doi:<https://doi.org/10.1007/s13213-012-0543-3>
- Chan-Quijano, J. G., Jarquín-Sánchez, A., Ochoa-Gaona, S., Bautista-Zúñiga, F., Martínez-Zurimendi, P., & López-Chávez, M. Y. (2013). Epecies vegetales útiles para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos totales del petróleo: un apoyo para la restauración ecológica. *Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica*, 7(3), 7-14.
- Collins, C., Fryer, M., & Grosso, A. (2006). Plant Uptake of Non-Ionic Organic Chemicals. *Environmental Science & Technology*, 40(1), 45-52. doi:10.1021/es0508166

- Conesa, H. C., Evangelou, M. W., Robinson, B. H., & Schulin, R. (2012). A critical view of current state of phytotechnologies to remediate soils: still a promising tool? *The Scientific World Journal*, 2012, 1-10.
- Coria, I. D. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería y Gerenciamiento ambiental UAIS-IGA*.
- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 33, 7-21. doi:10.20937/RICA.2017.33.esp01.01
- Cutz-Pool, L. Q., Palacios-Vargas, J. G., Castaño-Meneses, G., & García-Calderón, N. E. (2007). Edaphic collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. *Applied Soil Ecology*, 36(1), 46-52.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597-612.
- Doménech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Barcelona, España: Reverte.
- Erazo, G., Izurieta, J., Cronkleton, P., Larson, A., & Putzel, L. (2014). El uso de pigüe (*Piptocoma discolor*) por los pequeños productores de Napo, Ecuador: Manejo sostenible de una especie pionera de madera para los medios de vida locales. *CIFOR briefs*, 26, 6.
- Errington, I., King, C. K., Houlahan, S., George, S. C., Michie, A., & Hose, G. C. (2018a). The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 619-620, 1098-1104. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186.
- Errington, I., King, C. K., Wilkins, D., Spedding, T., & Hose, G. C. (2018b). Ecosystem effects and the management of petroleum-contaminated soils on subantarctic islands. *Chemosphere journal*, 194, 200-210. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.157

- Escalante, E., & Gallegos, M. M. (2005). Improvement of the hydrocarbon pytoremediation rate by "Cyperus laxus" Lam inoculated with a microbial Consortium in a model system. *Chermosphere*, 59, 405-413.
- Fernández-Ugalde, O., Barré, P., Virto, I., Hubert, F., Billioud, D., & Chenu, C. (2016). Does phyllosilicate mineralogy explain organic matter stabilization in different particle-size fractions in a 19-year C3/C4 chronosequence in a temperate Cambisol? *Geoderma*, 264(Part A), 171-178.
- Gan, S., Lau, E., & Ng, H. (2009). Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), 532-549. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.118>
- Garbisu, C., Epelde, L., & Becerril, J. M. (Junio de 2008). *Publicaciones: Ecologistas en acción*. Obtenido de Ecologistas en acción: <https://www.ecologistasenaccion.org/article17857.html>
- Gentry, H. (1993). A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú) with supplementary notes on herbaceous taxa. *Conservation International*.
- Gerhardt, K. E., Huang, X.-D., Glick, B. R., & Greenberg, B. M. (2009). Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. *Plant Science*, 176(1), 20-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.014>
- Gestión. (15 de Julio de 2015). *Economía: Gestion*. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/defensoria-pueblo-identifico-4-353-pasivos-ambientales-alto-riesgo-94903>
- Ghosh, M., & Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal Energy Environmental*, 6(4), 214-231.
- Glick, B. (2003). Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnol Adv.*, 25(5), 383-393.
- Gobierno Regional Amazonas & Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (2010). *Zonificación Ecológica y Económica de Amazonas*. Chachapoyas.

- González, I., Muena, V., Cisternas, M., & Neaman, A. (2008). Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(2), 279-291. doi:<https://doi.org/10.4067/S0716-078X2008000200010>
- Gordon, G., Stavi, I., Shavit, U., & Rosenzweig, R. (2018). Oil spill effects on soil hydrophobicity and related properties in a hyper-arid region. *Geoderma*, 312, 114-120. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.008> Received
- Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 7.
- Gudin, C., & Syrratt, W. J. (1975). Biological aspects of land rehabilitation following hydrocarbon contamination. *Environmental Pollution (1970)*, 8(2), 107-112. doi:[https://doi.org/10.1016/0013-9327\(75\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0013-9327(75)90020-8)
- Henner, P., Schiavon, M., Druelle, V., & Lichtfouse, E. (1999). Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. *Organic Geochemistry*, 30(8), 963-969. doi:[https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(99\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(99)00080-7)
- Hoyos, J. (1992). *Árboles Tropicales Ornamentales*. Caracas, Venezuela: Sociedad de Ciencias Naturales.
- Huang, X., El-Alawi, Y., Gurska, J., Glick, B., & Greenberg, B. (2005). A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. *Microchem J.*, 81, 139-147.
- Hussain, I., Markus, P., Gerhard, S., Schöftner, P., Yousaf, S., Wang, A., . . . Reichenauer, T. G. (2018). Rhizoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils: Improvement opportunities and field applications. *Environmental and Experimental Botany*, 147, 202-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.016>
- Jain, P. K., Gupta, V. K., Gaur, R. K., Lowry, M., Jaroli, D. P., & Chauhan, U. K. (2011). Bioremediation of petroleum oil contaminated soil and water. *Research Journal of Environmental Toxicological*, 5(1), 1-26.
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. C. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados

- con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145-154. doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Jiang, Y., Brassington, K., Prpich, G., Paton, G., Semple, K., Pollard, S., & Coulon, F. (2016). Insights into the biodegradation of weathered hydrocarbons in contaminated soils by bioaugmentation and nutrient stimulation. *Chemosphere*, 161, 300–307.
- Kang, F., Chen, D., Gao, Y., & Zhang, Y. (2010). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in subcellular root tissues of ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *BMC Plant Biology*, 10, 210. doi:<https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-210>
- Kathi, S., & Khan, A. (2011). Phytoremediation approaches to PAH contaminated soil. *Indian Journal Science & Technology*, 4(1), 56-63.
- Kaur, N., Erickson, T. E., Ball, A. S., & Ryan, M. H. (2017). A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination — knowledge gaps and recommendations. *Science of The Total Environment*, 603-604, 728-744. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S., & Khan, Q. M. (2013). Plant–bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere*, 90(4), 1317-1332. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.045>
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., & Maurice, C. (2007). Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. *Environmental Pollution*, 145(1), 365-373.
- Lal, R. (2002). Soil erosion and the global carbon budget. *Environmental International*, 29, 437-450.
- Li, H.-Y., Wei, D.-Q., Shen, M., & Zhou, Z.-P. (2012). Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Divers*, 54(1), 11-18. doi:<https://doi.org/10.1007/s13225-012-0165-x>
- Llugany, M., Tolrá, R., Poschnrieder, C., & Barceló, J. (2007). Hiperacumulacion de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16(2), 4-9.

- López, M. (2017, agosto 17). *Secciones de noticias: Contaminación, Pueblos indígenas, Ríos*. Retrieved from Mongabay Latam: <https://es.mongabay.com/2017/08/peru-comunidades-indigenas-petroleo-lote-192-protesta/>
- López-Camacho, R., & Montero-G, I. (2005). *Manual de identificación de especies en bosques naturales con manejo certificable por comunidades*. Bogotá, Colombia.
- Macoustra, G. K., King, C. K., Wasley, J., Robinson, S. A., & Jolley, D. F. (2015). Impact of hydrocarbons from a diesel fuel on the germination and early growth of subantarctic plants. *Environmental Science: Processes & Impacts*(7), 1238-1248.
- Mahecha, G., Ovalle, A., Camelo, D., Roza, A., & Barrero, D. (2004). *Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR.
- Martínez-Prado, A., Pérez-López, M., PintoEspinoza, J., Gurrola-Nevárez, B., & Osorio-Rodríguez, A. (2011). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 27(3), 241-252.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo. D.S. N° 011-2017-MINAM*. Lima. Lima.
- Moliterni, E., Rodriguez, L., Fernández, F., & Villaseñor, J. (2012). Feasibility of Different Bioremediation Strategies for Treatment of Clayey and Silty Soils Recently Polluted with Diesel Hydrocarbons. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 2479-2482. doi:<https://doi.org/10.1007/s11270-011-1040-1>
- Mostacero, J., Mejía, F., & Gamarra, O. (2009). *Fanerógamas del Perú: Taxonomía, utilidad y ecogeografía*. Trujillo - Perú: CONCYTEC.
- Nothers, M., Segev, N., Kreyling, J., Hjazin, A., & Groner, E. (2017). Desert Vegetation Forty Years after an Oil Spill. *J. Environ. Qual.*, 46(3), 568-575. doi:10.2134/jeq2016.03.0078
- Ñustez, D. C. (2012). *Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible*. Tesis de maestría, Pereira.



- Ochoa-Gaona, S. I., Pérez-Hernández, J. A., Frías-Hernández, ., A., Jarquín-Sánchez, A., & Méndez-Valencia, A. (2011). *Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Villahermosa, Tabasco, México: Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y El Colegio de la Frontera Sur.
- OEFA. (2016a). *Resolución Directoral N° 012-2016-OEFA/DS*. Lima. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=16917](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16917)
- OEFA. (2016b). *Reporte público del informe de supervisión directa N° 633-2016-OEFA/DS-HID*. MINAM, Dirección de Supervisión, Lima. Obtenido de [www.oefa.gob.pe](http://www.oefa.gob.pe)
- OEFA. (2016c). *Reporte público del informe de supervisión directa N°4501-2016-OEFA/DS-HID*. MINAM, Dirección de Supervisión, Lima. Obtenido de [www.oefa.gob.pe](http://www.oefa.gob.pe)
- Olson, P., & Fletcher, J. (2000). Ecological recovery of vegetation at a former industrial sludge basin and its implications to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 7(4), 195-204. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02987348>
- Osinergmin. (2009). *Eliminación del mayor impacto ambiental de los campos petroleros*. Lima.
- Panchenko, L., Muratova, E. a., Dubrovskaya, E., Golubev, S., & Turkovskaya, O. (2017). Dynamics of natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil and remediation potential of indigenous plant species in the steppe zone of the southern Volga Uplands. *Environ Sci Pollut Res*, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0710-y>
- Peng, Y., Yang, W., Lin, W., Lai, T., & Chien, C. (2009). Nak regulates Dlg basal localization in Drosophila salivary gland cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 382(1), 108-113. doi:10.1016 /j.bbrc.2009.02.139
- Pennington, T. D., Reynel, C., & Daza, A. (2004). Illustrated guide to the Tree of Peru. *Published by David Hunt, The Manse, Chapel Lane, Milborne Port Sherborne, DT9 5DL*, 848.

- Pennington, T., & Sarukhan, J. (1998). *Arboles tropicales de México* (2° Edición ed.). México.
- Peralta-Pérez, M., & Volke-Sepúlveda, T. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *11*(1), 75-88.
- Pernar, N., Baksic, D., Antonic, O., Grubescic, M., Tikvic, I., & Trupcevic, M. (2006). Oil residuals in lowland forest soil after pollution with crude oil. *Water Air Soil Pollut*, *177*, 267-284.
- Perozo-Castro, R., Ramírez-Villalobos, M., Ballesteros, A., & Rivero, G. (2003). “Tiempo de remojo y profundidad de siembra en semillas del patrón níspero criollo (Manilkara zapota (Van Roye) (Jaca) Gill) Sapotaceae”. *Revista Facultad Agronómica*, *20*, 10-20.
- Petroperú. (2008). *Petróleos del Perú - Petroperú S.A.* Obtenido de Petroperú: <http://www.petroperu.com.pe/portalweb/Main.asp?seccion=76>
- Petrová, Š., Rezek, J. R., Soudek, P., & Vaněk, T. (2017). Preliminary study of phytoremediation of brownfield soil contaminated by PAHs. *Science of the Total Environment*, *599-600*, 572-580. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.163>
- Pittier, H. (1978). *Manual de las plantas usuales de Venezuela y su suplemento*. Caracas, Venezuela.
- Plaza, G., Nalecz-Jawaki, G., Ugih, K., & Brigmon, R. L. (2005). The application of biossays as indicators of petrolum-contaminated soil reediation. *Chermosphere*, *59*(2), 289-296.
- Prado, A. M., Quillici, A., & Ortega, F. (1999). Estudio descriptivo y funcional de la vegetación en áreas contaminadas por derrames de hidrocarburos. *Visión Tecnológica*, 51-58.
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plants Sci*, *180*(2), 169-181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>

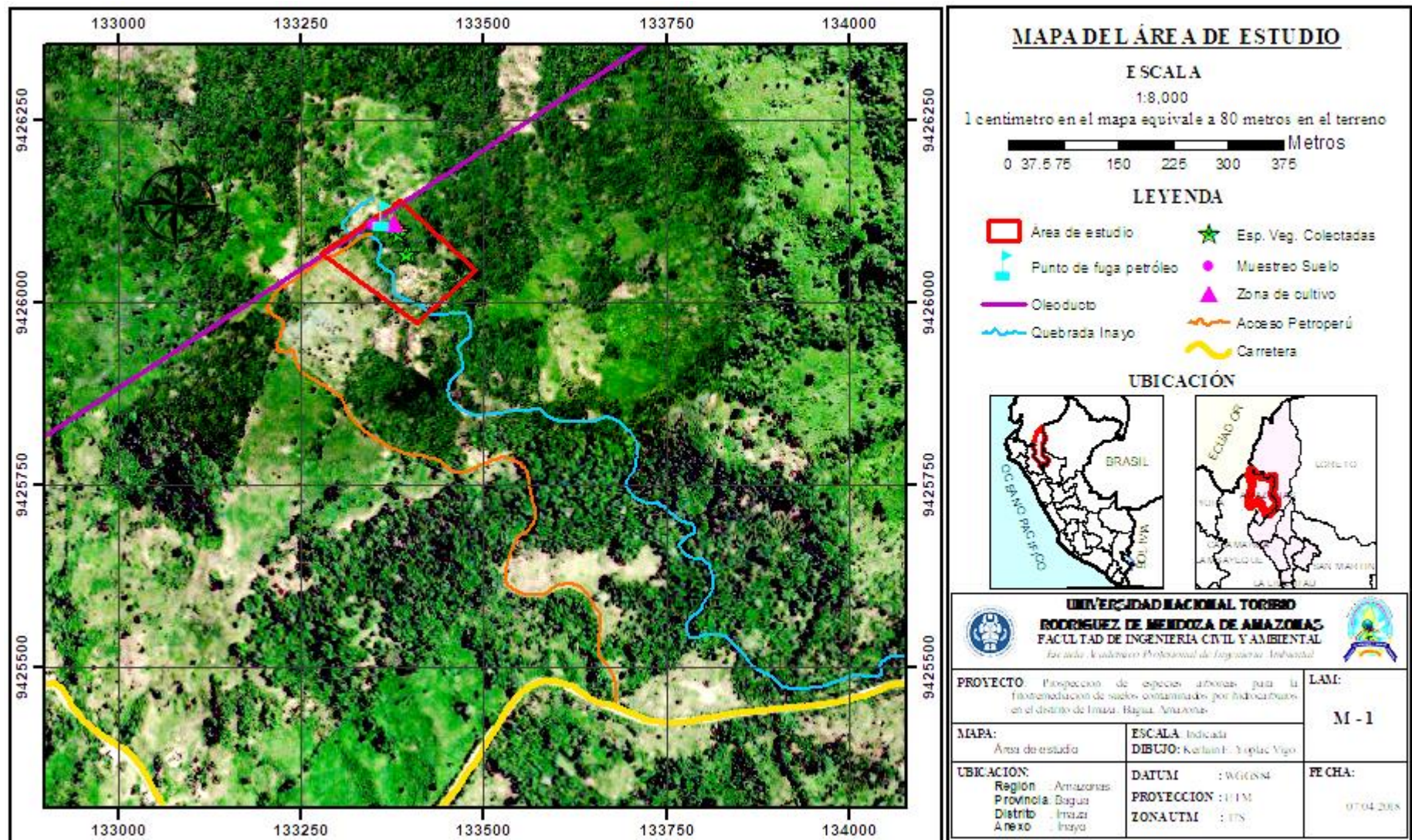
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1992). *Biología de las plantas* (4ta ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Restrepo, R. (2002). Derrame de hidrocarburos: Impacto en los ecosistemas tropicales. *ECOPETROL Instituto Colombiano de Petróleo*.
- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Arboles útiles de la amazonia peruana y sus usos, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. Lima, Perú: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Rittman, B. (1994). *In situ bioremediation* (2 ed.). New Jersey, Estados Unidos: Noyes Publication.
- Rivera, M. (2011). Bacterias y hongos en suelos contaminados con petróleo crudo en Tabasco. In SUBNAGERM, U. CICY, SAGARPA, M. Gamboa, & R. Rojas (Eds.), *Recursos genéticos microbianos en la zona Golfo-sureste México*. SUBNAGERM. CICY. UADY. SAGARPA (1 ed., Vol. 1, pp. 78-87). México D.F.
- Rivera, M. C., Trujillo, A., Ferrera, R., Sánchez, P., Volke, V., Fernández, L., & Rodríguez, R. (2006). Descontaminación con Benzo(a)pireno mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán (*Echinochloa polystachya* [H.B.K.] Hitchc). *Uniridad y Ciencia Trópico Húmedo*, 22, 1-12.
- Rivera-Cruz, M.-C., Maldonado-Chávez, E., & Trujillo-Narcía, A. (2012). Effects of crude oil on the growth of *Brachiaria mutica* and *Leucaena leucocephala* and on soil and plant macronutrients. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(Sup 2), S30-S39.
- Robson, D., Knight, J., Farrell, R., & Germida, J. (2004). Natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil in semi-arid grasslands. *Canadian Journal of Botany*, 82(1), 22-30. doi:<https://doi.org/10.1139/b03-138>
- Rodríguez, I. (2013). *Reciclado en suelos de lodos de refinería: nuevas aproximaciones para la biodegradación de hidrocarburos mediante el manejo de enmiendas orgánicas*. Tesis, Universidad de Murcia, Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, España.

- Salazar, J. (2016, Marzo 3). *SPDA ACTUALIDAD AMBIENTAL*. Retrieved from SOCIEDAD PERUANA DE DERECHO AMBIENTAL - SPDA: <http://www.actualidadambiental.pe/?p=36118>
- Salazar, M. (2012, Abril 10). *Tierramérica: Medio Ambiente y Desarrollo*. Retrieved from Inter Press Service: Agencia de noticias: <http://www.ipsnoticias.net/2012/04/miles-de-pozos-petroleros-abandonados-a-su-suerte-en-peru/>
- Schmidt, W. (2000). Suelos contaminados con hidrocarburos: la biorremediación como una solución ecológicamente compatible. *Cooperación Técnica Alemana (GTZ)*.
- Schnoor, L. j., & Lich, A. L. (1995). Phytoremediation of Organic Nutrient Contaminants. *Environmental Science & Technology*, 29(7).
- Schnoor, J. L. (1997). *Phytoremediation*. Iowa: Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center.
- Schwitzguébel, J.-P., Comino, E., Plata, N., & Khalvati, M. (2011). Is phytoremediation a sustainable and reliable approach to clean-up contaminated water and soil in Alpine areas? *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6), 842-856.
- Shahriari, M., Savaghebi, F., Minaei, T., & Padidarani, M. (2006). The effect of mixed plants Alfalfa (*Medicago sativa*) and Fescue (*Festuca arundinacea*) on the phytoremediation of light crude oil in soil. *Environ Scienc*, 4(13), 33-40.
- Souza, E. C., Vessoni-Penna, T. C., & Oliveira, R. P. (2014). Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 89, 88-94. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.007>
- Spaczyński, M., Seta-Koselska, A., Patrzył, P., Betlej, A., & Skórzyńska-Polit, E. (2012). Phytodegradation and biodegradation in rhizosphere as efficient methods of reclamation of soil contaminated by organic chemicals (a review). *Acta Agrophysica*, 19(1), 155-169.
- Terrado, M., Barceló, D., & Tauler, R. (2010). Multivariate curve resolution of organic pollution patterns in Ebro River surface water-groundwater-sediment-soils systems. *Anal. Chim. Acta*, 657, 19-27.

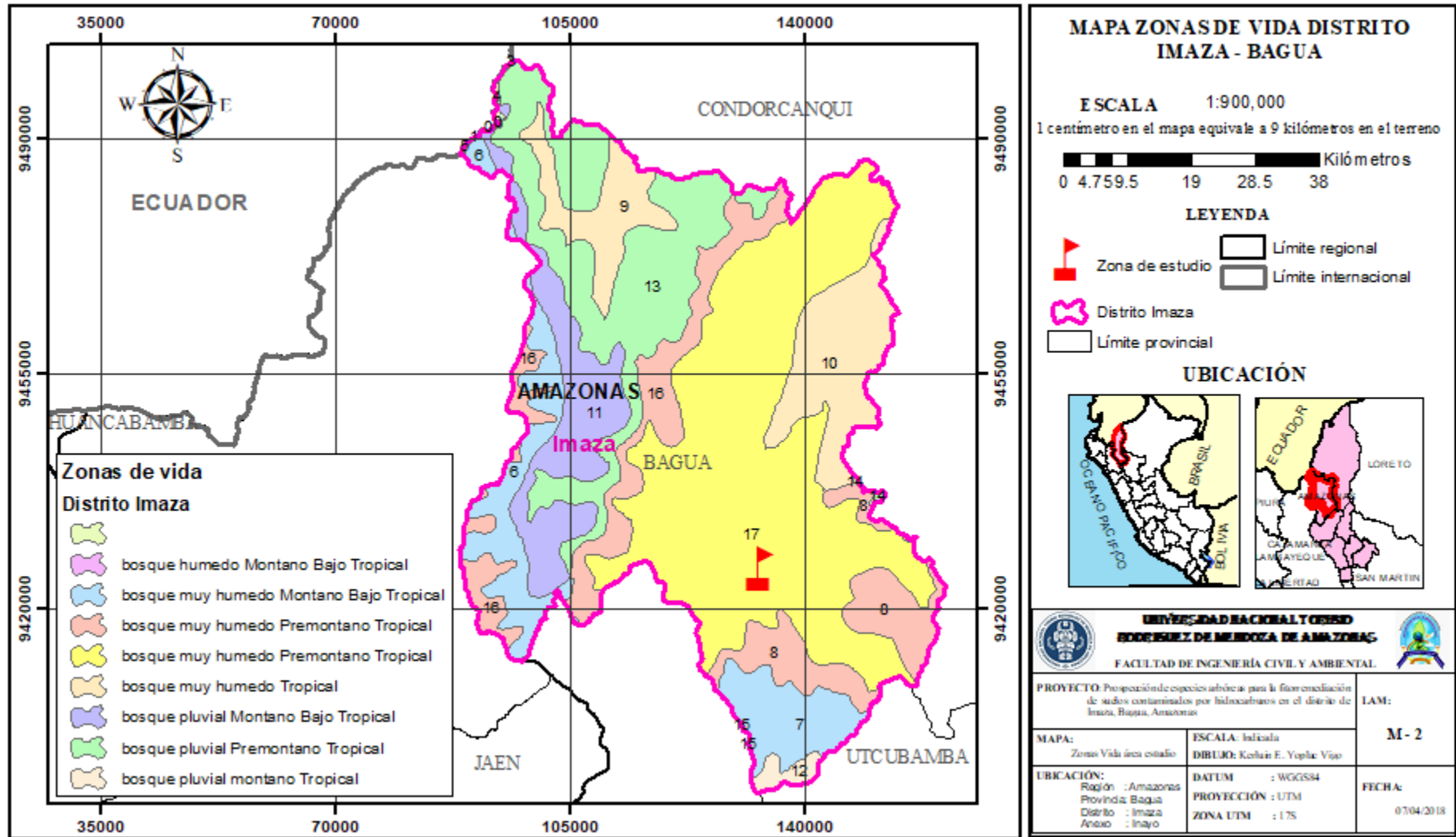
- Uribe-Hernández, R., Juárez-Méndez, C., Oca, M. d., A., M., Palacios-Vargas, J. G., Cutz-Pool, L., & Mejía-Recarmier, B. E. (2010). Colémbolos (Hexápoda) como bioindicadores de la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en suelos en el sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(1), 153-162.
- Varjani, S. J. (2017). Bioresource Technology Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223, 277-286. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
- Vasallo, J., & Herrera, D. (2002). Seminario de hidrocarburos. Escuela Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén, Argentina.
- Vázquez-Luna, D., Castelán-Estrada, M., Rivera-Cruz, M. d., Ortiz-Ceballos, Á. I., & Izquierdo, F. (2010). *Crotalaria incana* L. y *Leucaena leucocephala* Lam. (Leguminosae): Especies indicadoras de toxicidad por hidrocarburos de petróleo en el suelo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 183-191.
- Wallace, S., & Kadlec, R. (2005). BTEX degradation in a cold-climate wetland system. *Water Science and Technology*, 51(9), 165-172.
- Zhang, J., & Fan, S.-k. (2016). Influence of PAH speciation in soils on vegetative uptake of PAHs using successive extraction. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 114-122.
- Zhang, J., Fan, S.-k., Zhang, M.-h., Grieneisen, M. L., & Zhang, J.-f. (2018). Aliphatic hydrocarbons recovered in vegetables from soils based on their in-situ distribution in various soil humus fractions using a successive extraction method. *Journal of Hazardous Materials*, 346, 10-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.012>
- Zurita, M. G., & Escalante, E. (2012). Sorción de hidrocarburos en plantas fitorremediadoras. *KUXULKAB*, XVIII(35), 17-21.

# ANEXOS

**Anexo 1.** Mapa de ubicación del área de estudio

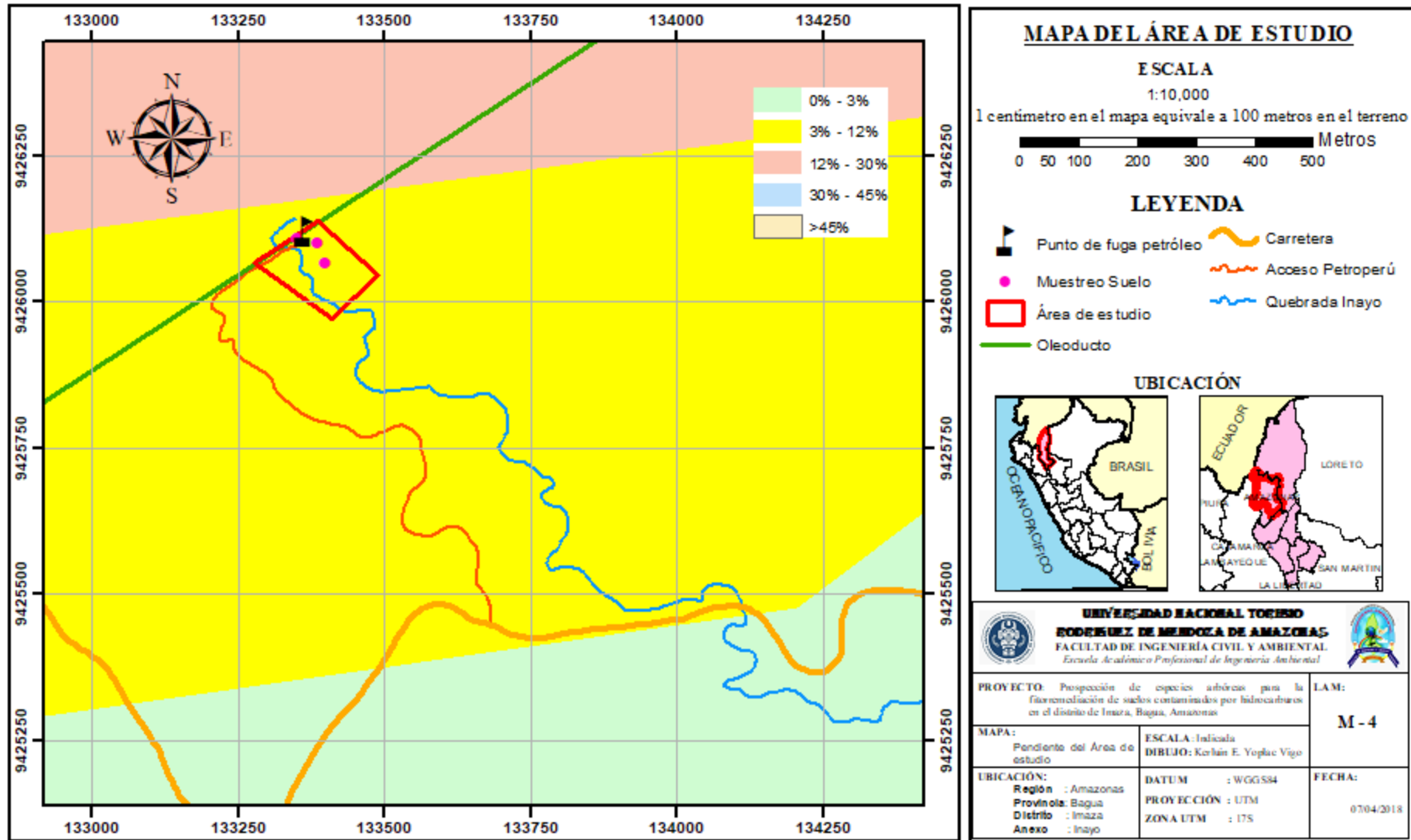


Anexo 2. Mapa de Zonas de Vida del distrito de Imaza y del área de estudio





Anexo 3. Mapa de pendientes del área de estudio



Anexo 4. Lista de especies colectadas

LISTA DE LAS ESPECIE MUESTREADAS

Código	Familia	Nombre		CAP (cm)	DAP (cm)	Altura (m)
		Científico	Común			
P2-03	ASTERACEAE	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski	Yucate	53	17	10
P1-02	MALVACEAE	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacao	51	16	4
P2-01	BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda copaia</i> (Mart. ex. DC.) A.H. Gentry	Vela	34	11	3
P2-02	MELIACEAE	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	38	12	5
P1-01	FABACEAE	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Plumilla	95	30	18

**Anexo 5.** Formato para la descripción taxonómica de las especies silvestres propuestas para la fitorremediación de sitios contaminados.

**DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA**

**CÓDIGO:** \_\_\_\_\_

**FAMILIA:**.....

Nombre científico de la especie: .....

Nombres comunes: .....

Sinónimos botánicos: .....

**DESCRIPCIÓN**

Árbol.....  
.....

Corteza externa: .....

Corteza interna: .....

Ramitas terminales: .....

Hojas.....  
.....

Inflorescencias:  
.....  
.....

Flores:  
.....  
.....

...

Frutos:  
.....  
.....

**USOS**

.....  
.....

Anexo 6. Fotos de las especies identificadas



6A

*Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski  
(Yucate).



6B

*Theobroma cacao* L. (Cacao)



6C

*Jacaranda copaia* subsp. *Spectabilis*  
(Aubl.) D.Don (Vela)



6D

*Cedrela* sp. (Cedro).



6E

*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake

**Anexo 7.** Resultados del análisis de concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en muestras de suelo y especies vegetales.

Anexo 7. 1. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en *Piptocoma discolor*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
**LABICER (Laboratorio N° 12)**  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



**INFORME TÉCNICO N° 0810 – 17 – LAB. 12**


1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 DNI : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTAS

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: P2-03
HOJA	P2-03-Hoja
TALLO	P2-03-Tallo
RAÍZ	P2-03-Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de muestra seca)	MÉTODOS DE REFERENCIA
P2-03-Hoja	28.306	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET) EPA METHOD 8440 (TPH BY IR)
P2-03-Tallo	3.961	
P2-03-Raíz	6.421	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
 Quim. Natalia K. Chávez LI.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
 Bach. Fiorella Meoño B.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
 M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
 Jefa de Laboratorio  
 Responsable de Análisis  
 CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

Anexo 7. 2. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en *Theobroma cacao*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



**INFORME TÉCNICO N° 0807 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 04 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTAS

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: P1-02
HOJA	P1-02-Hoja
TALLO	P1-02-Tallo
RAÍZ	P1-02-Raiz
FRUTO	P1-02-Fruto

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de muestra seca)	MÉTODOS DE REFERENCIA
P1-02-Hoja	20.392	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET) EPA METHOD 8440 (TPH BY IR)
P1-02-Tallo	6.162	
P1-02-Raiz	7.171	
P1-02-Fruto	2.863	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0807-17- LABICER

Página 1 de 1

Anexo 7. 3. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en *Jacaranda copaia*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0809 – 17 – LAB. 12**


1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTAS

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: P2-02
HOJA	P2-02-Hoja
TALLO	P2-02-Tallo
RAÍZ	P2-02-Raíz


5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de muestra seca)	MÉTODOS DE REFERENCIA
P2-02-Hoja	10.729	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET) EPA METHOD 8440 (TPH BY IR)
P2-02-Tallo	5.294	
P2-02-Raíz	4.474	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quim. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



## Anexo 7. 4. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en *Cedrela* sp.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



### **INFORME TÉCNICO N° 0806 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTAS


ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: P1-01
HOJA	P1-01-Hoja
TALLO	P1-01-Tallo
RAÍZ	P1-01-Raiz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**


MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de muestra seca)	MÉTODOS DE REFERENCIA
P1-01-Hoja	5.231	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET) EPA METHOD 8440 (TPH BY IR)
P1-01-Tallo	4.173	
P1-01-Raiz	2.115	

### 9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quim. Natalia K. Chávez L.I.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**Anexo 7. 5. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



**INFORME TÉCNICO N° 0808 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTAS


ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: P2-01
HOJA	P2-01-Hoja
TALLO	P2-01-Tallo
RAÍZ	P2-01-Raiz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de muestra seca)	MÉTODOS DE REFERENCIA
P2-01-Hoja	10.898	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET) EPA METHOD 8440 (TPH BY IR)
P2-01-Tallo	4.145	
P2-01-Raiz	5.386	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quim. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

Anexo 7. 6. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo en la muestra de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
**LABICER (Laboratorio N° 12)**  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



**INFORME TÉCNICO N° 0725 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN SUELOS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 01 MUESTRA DE SUELO

MUESTRA	CÓDIGO
M2	P <sub>2</sub> – 0 – 30 cm


\*Ver fotografía de la muestra en anexo

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de suelo seco)	MÉTODO UTILIZADO
M2	1.733	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET)

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
 Quim. Natalia K. Chávez LI.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
 Bach. Fiorella Meoño B.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
 M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
 Jefa de Laboratorio  
 Responsable de Análisis  
 CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

Anexo 7.7. Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo cerca al oleoducto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 LABICER (Laboratorio N° 12)  
 ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0726 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : OLIVER TUESTA CHÁVEZ
  - 1.2 D.N.I : 47353570
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO EN SUELOS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 01 MUESTRA DE SUELO


MUESTRA	CÓDIGO
M3	M.S - OLE

\*Ver fotografía de la muestra en anexo



5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo Soxhlet  
Rotavapor Buchi
8. **RESULTADO**

MUESTRA	RESULTADO (mg/kg de suelo seco)	MÉTODO UTILIZADO
M3	3.476	EPA METHOD 3540 C (EXTRACCIÓN SOXHLET)

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
 Quim. Natalia K. Chávez LI.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
 Bach. Fiorella Meoño B.  
 Analista  
 LABICER – UNI

  
  
 M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
 Jefa de Laboratorio  
 Responsable de Análisis  
 CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**Anexo 8.** Concentración promedio de Hidrocarburos Totales del Petróleo (mg/Kg) obtenida por especies y estructura

<b>Especie</b>	<b>Hoja</b>	<b>Raíz</b>	<b>Tallo</b>	<b>Fruto</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	28.306	6.421	3.961	-
<i>Theobroma cacao</i>	20.392	7.171	6.162	2.863
<i>Jacaranda copaia</i>	10.898	5.386	4.145	-
<i>Cedrela sp.</i>	10.729	4.474	5.294	-
<i>Schizolobium parahyba</i>	5.231	2.115	4.173	-

Nota. La única especie que presentó fruto fue *Theobroma cacao* con 2.863 mg/kg de HTP.