



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**BIOADSORCIÓN DE HIDROCARBUROS DE AGUA**  
**CONTAMINADA UTILIZANDO EL PSEUDOTALLO DEL PLÁTANO**  
***Dominico harton* Y SU APROVECHAMIENTO INTEGRAL COMO**  
**SUSTRATO PARA CULTIVO DE *Pleurotus sp***

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: MARICELA STEPHANIA GRANDA SOLANO**

**DIRECTORA: Dra. JENNY MARINA MORENO MORA**

Riobamba - Ecuador

2019

**© 2019, Maricela Stephania Granda Solano**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**CERTIFICACIÓN:**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo proyecto de investigación “BIOADSORCIÓN DE HIDROCARBUROS DE AGUA CONTAMINADA UTILIZANDO EL PSEUDOTALLO DEL PLÁTANO *Dominico harton* Y SU APROVECHAMIENTO INTEGRAL COMO SUSTRATO PARA CULTIVO DE *Pleurotus sp*”, de responsabilidad de la señorita MARICELA STEPHANIA GRANDA SOLANO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Jenny Marina Moreno Mora

DIRECTORA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Maricela Stephania Granda Solano soy responsable de las ideas, doctrinas, y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del presente trabajo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Maricela Stephania Granda Solano

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Olga y Homero, mis logros son suyos.

*Maricela*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por las personas que ha puesto en mi vida.

A mis padres, por su apoyo constante, motivación y confianza en cada proyecto emprendido; a mis hermanas y demás familia, gracias por creer en mí y apoyarme.

A la Doctora Jenny Moreno, por su profesionalismo, por el conocimiento compartido y por creer en este proyecto y en mí.

A la Ingeniera Rafaela Pacurucu Msc. por su predisposición y conocimiento compartido para resolver los obstáculos encontrados en el desarrollo de este trabajo.

A Alexis G., y Amisacho por la apertura y las enseñanzas brindadas para entender de forma práctica el fascinante mundo de los hongos.

A Gustavo R., por su gran amistad, por ser mi apoyo constante durante el desarrollo del presente trabajo y por alegrar las vivencias en el laboratorio.

A Ana Belén M., por su apoyo y comprensión dentro del Laboratorio de Biotecnología y sobre todo por su amistad, al final buscamos el mismo horizonte.

A Andrea S., por ser mi amiga, confidente y apoyo en todo momento; a Mariela M., Noemí C., Gloria L., Andrés M., y amigos en general, gracias por alegrar mi etapa estudiantil.

A Cristhian C., y Pablo S., por enseñarme que los diferentes puntos de vista nos pueden unir y que siempre se puede hacer más, gracias por compartir sueños conmigo, por acompañarme en aciertos y derrotas y sobre todo por la amistad construida durante los procesos estudiantiles.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por los conocimientos adquiridos y sobre todo por brindarme la oportunidad de vivir experiencias que forjaron mi carácter y formación humana.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
<b>GRÁFICO 1-1: ÁREA AFECTADA (HA) A NIVEL NACIONAL POR DERRAMES DE PETRÓLEO.....</b>	<b>XI</b>
<b>GRÁFICO 2-1: ÁREA AFECTADA A NIVEL NACIONAL POR LA PRESENCIA DE FOSAS PETROLERAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>GRÁFICO 3-1: ÁREA AFECTADA A NIVEL NACIONAL POR PISCINAS DE AGUAS DE FORMACIÓN.....</b>	<b>XI</b>
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
<b>ECUACIÓN 1-1: GRAVEDAD API.....</b>	<b>XII</b>
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
OBJETIVO GENERAL:.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	3
CAPITULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. HIDROCARBUROS:.....	4
1.1.1. <i>Gravedad API:</i> .....	5
1.1.2. <i>Afectaciones a la salud</i> .....	6
1.1.3. <i>Petróleo en Ecuador</i> .....	6
1.1.4. <i>Contaminación por Hidrocarburos:</i> .....	7
1.1.5. <i>Contaminación de Aguas:</i> .....	9
1.1.6. <i>Procesos de recuperación de hidrocarburos</i> .....	9
1.1.7. <i>Métodos de determinación de Hidrocarburos en el agua</i> .....	10
1.2. ESPECTROSCOPIA.....	12
1.2.1. <i>Espectroscopía UV</i> .....	12
1.2.1.1. Medición de transmitancia y absorbancia:.....	13
1.2.1.2. Ley de Lambert – Beer:.....	13
1.2.1.3. Absortividad y Absortividad Molar:.....	14
1.2.1.4. Curva de calibración: .....	14

1.2.1.5.	Limitaciones de la aplicabilidad a la Ley de Beer:.....	15
1.2.1.6.	Limitaciones propias de la Ley de Beer: .....	15
1.2.2.	<i>Error fotométrico:</i> .....	15
1.2.3.	<i>Características del equipo:</i> .....	16
1.3.	MATERIALES SORBENTES .....	16
1.3.1.	<i>Propiedades de un sorbente:</i> .....	17
1.3.1.1.	Porosidad: .....	17
1.3.1.2.	Permeabilidad: .....	17
1.3.2.	<i>Limitaciones al uso de los sorbentes:</i> .....	18
1.3.3.	<i>Tipos de materiales sorbentes:</i> .....	18
1.3.4.	<i>Biosorbentes</i> .....	18
1.3.5.	<i>Pseudotallo del plátano como biosorbente</i> .....	19
1.3.6.	<i>Disposición final del biosorbente</i> .....	20
1.4.	HONGOS.....	21
1.4.1.	<i>Pleurotus ostreatus</i> .....	22
1.4.1.1.	Taxonomía y generalidades.....	22
1.4.1.2.	Cultivo .....	23
CAPITULO II .....		24
2.	MARCO METODOLÓGICO .....	24
2.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	24
2.2.	POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	25
2.2.1.	<i>Tamaño de Muestra</i> .....	25
2.2.2.	<i>Selección de muestra</i> .....	25
2.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	26
2.3.1.	<i>Muestreo de pseudotallo de Dominico harton:</i> .....	26
2.3.2.	<i>Preparación y adecuación de muestras:</i> .....	26
2.3.3.	<i>Caracterización del pseudotallo de Dominico harton:</i> .....	26
2.3.3.1.	Humedad: .....	27
2.3.3.2.	pH:.....	27
2.3.3.3.	Conductividad eléctrica: .....	27
2.3.3.4.	Proteína, fibra, cenizas y grasa: .....	27
2.3.3.5.	Hemicelulosa, celulosa y lignina.....	28
2.3.3.6.	Flotabilidad: .....	28
2.3.3.7.	Densidad y porosidad: .....	28
2.3.4.	<i>Preparación del agua contaminada:</i> .....	29
2.3.5.	<i>Caracterización del agua contaminada:</i> .....	30
2.3.5.1.	Temperatura: .....	30
2.3.5.2.	Conductividad eléctrica: .....	30
2.3.5.3.	pH:.....	30
2.3.5.4.	Turbiedad:.....	30
2.3.5.5.	Hidrocarburos: .....	30
2.3.6.	<i>Aplicación del pseudotallo como bioadsorbente:</i> .....	31
2.3.7.	<i>Utilización del pseudotallo como sustrato para cultivar Pleurotus sp:</i> .....	33
CAPITULO III.....		36
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.1.	PREPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE MUESTRAS. ....	36
3.1.1.	<i>Secado de pseudotallo recolectado</i> .....	36
3.1.2.	<i>Molido y tamizado de muestra seca</i> .....	38

3.2.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL PSEUDOTALLO DEL PLÁTANO <i>DOMINICO HARTON</i> .	39
3.2.1.	<i>Humedad</i>	39
3.2.2.	<i>pH y Conductividad eléctrica:</i>	40
3.2.3.	<i>Proteína, fibra, ceniza, grasas</i>	40
3.2.4.	<i>Hemicelulosa, celulosa y lignina</i>	41
3.2.5.	<i>Flotabilidad</i>	42
3.2.6.	<i>Densidad y porosidad</i>	43
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS.	44
3.3.1.	<i>Temperatura, pH, Conductividad eléctrica y Turbiedad</i>	44
3.3.2.	<i>Hidrocarburos</i>	45
3.4.	CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PSEUDOTALLO DE <i>DOMINICO HARTON</i> PARA RETENER HIDROCARBUROS.	46
3.4.1.	<i>Resultados de remoción de hidrocarburos</i>	46
3.4.2.	<i>Rendimiento de sorción del pseudotallo</i>	51
3.4.3.	<i>Comportamiento de la conductividad eléctrica</i>	56
3.4.4.	<i>Comportamiento de la turbiedad</i>	57
3.4.5.	<i>Comportamiento del pH</i>	57
3.5.	EMPLEO DEL PSEUDOTALLO CON HIDROCARBUROS COMO SUSTRATO PARA CULTIVAR <i>PLEUROTUS SP.</i>	58
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		63

## BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

ANEXO A: BARRIDO ESPECTRAL

ANEXO B: INFORME DE ENSAYO CESTTA

ANEXO C: INFORME DE ENSAYO INIAP

ANEXO D: DETALLE DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN

ANEXO E: DETALLE DE RESULTADOS DE RENDIMIENTO DEL MATERIAL

ANEXO F: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LA METODOLOGÍA SEGUIDA

ANEXO G. CULTIVO DE *P. OSTREATUS*

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Taxonomía del plátano .....	19
<b>Tabla 2-1:</b> Taxonomía de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	22
<b>Tabla 1-2:</b> codificación de unidades experimentales .....	25
<b>Tabla 2-2:</b> Parámetros de análisis proximal de Weende .....	27
<b>Tabla 3-2:</b> Parámetros del análisis Van Soest .....	28
<b>Tabla 4-2:</b> Códigos de frascos con pseudotallo contaminado para cultivo .....	33
<b>Tabla 5-2:</b> Pesos de frascos con pseudotallo contaminado para cultivo .....	34
<b>Tabla 6-2:</b> Descripción de frascos con pseudotallo como blanco .....	35
<b>Tabla 1-3:</b> Pesos de pseudotallo secado a 60°C .....	36
<b>Tabla 2-3:</b> Pesos de pseudotallo secado a 70°C .....	36
<b>Tabla 3-3:</b> Pesos de pseudotallo secado a 80°C .....	37
<b>Tabla 4-3:</b> Condiciones de la muestra seca a 70°C .....	38
<b>Tabla 5-3:</b> Peso de pseudotallo durante la adecuación .....	38
<b>Tabla 6-3:</b> Fracciones de tamizaje y sus porcentajes .....	38
<b>Tabla 7-3:</b> Tamaño de partículas utilizadas .....	39
<b>Tabla 8-3:</b> Humedad real del tallo de plátano .....	39
<b>Tabla 9-3:</b> pH y conductividad eléctrica del pseudotallo .....	40
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados análisis proximal Weende del pseudotallo .....	40
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados análisis Van Soest del pseudotallo .....	39
<b>Tabla 12-3:</b> Flotabilidad de los tres tipos de partículas de pseudotallo .....	42
<b>Tabla 13-3:</b> Densidades de las partículas de pseudotallo .....	43
<b>Tabla 14-3:</b> Porosidad de las partículas de pseudotallo .....	43
<b>Tabla 15-3:</b> Parámetros físicos del agua contaminada .....	42
<b>Tabla 16-3:</b> Concentración de hidrocarburos en agua contaminada .....	45
<b>Tabla 17-3:</b> Concentración residual de hidrocarburos en el agua .....	46
<b>Tabla 18-3:</b> Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba corta .....	46
<b>Tabla 19-3:</b> Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba dinámica .....	46
<b>Tabla 20-3:</b> Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba larga .....	46
<b>Tabla 21-3:</b> Rendimiento de sorción del pseudotallo .....	49
<b>Tabla 22-3:</b> Anova para rendimiento de sorción de prueba corta .....	49
<b>Tabla 23-3:</b> Anova del rendimiento de sorción de prueba dinámica .....	50
<b>Tabla 24-3:</b> Anova del rendimiento de sorción de prueba larga .....	51
<b>Tabla 25-3:</b> Comportamiento de conductividad entre partículas .....	53
<b>Tabla 26-3:</b> Comportamiento de turbiedad entre partículas .....	53
<b>Tabla 27-3:</b> Comportamiento de pH entre partículas .....	54
<b>Tabla 28-3:</b> Pseudotallo incubado con <i>P. ostreatus</i> por 15 días .....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Área afectada (ha) a nivel nacional por derrames de petróleo.....	7
<b>Gráfico 2-1:</b> Área afectada a nivel nacional por la presencia de fosas petroleras.....	8
<b>Gráfico 3-1:</b> Área afectada a nivel nacional por piscinas de aguas de formación.....	8
<b>Gráfico 1-2:</b> Metodología a aplicar.....	23
<b>Gráfico 1-3:</b> Pesos de muestras de pseudotallo secadas a diferentes temperaturas.....	35
<b>Gráfico 2-3:</b> Curva de calibración a 334nm.....	43
<b>Gráfico 3-3:</b> LSD para prueba corta.....	45
<b>Gráfico 4-3:</b> LSD para prueba dinámica.....	46
<b>Gráfico 5-3:</b> LSD para prueba larga.....	47
<b>Gráfico 6-3:</b> LSD para rendimiento en prueba corta.....	50
<b>Gráfico 7-3:</b> LSD para rendimiento en prueba dinámica.....	51
<b>Gráfico 8-3:</b> LSD para rendimiento en prueba larga.....	52

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Gravedad API.....	5
<b>Ecuación 2-1:</b> Ley de Lambert Beer.....	13
<b>Ecuación 3-1:</b> Ecuación de la Absorbancia.....	13
<b>Ecuación 4-1:</b> Absorbancia en función de la constante de proporcionalidad.....	13
<b>Ecuación 5-1:</b> Porosidad.....	16
<b>Ecuación 1-3:</b> Ecuación de la concentración de hidrocarburos.....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Barrido espectral.

**Anexo B:** Informe de ensayo CESTTA.

**Anexo C:** Informe de ensayo INIAP.

**Anexo D:** Detalle de remoción de hidrocarburos en función de la concentración.

**Anexo E:** Detalle de rendimiento del material.

**Anexo F:** Evidencia fotográfica.

**Anexo G:** Cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se determinó la capacidad bioadsorbente del pseudotallo de *Dominico harton* para retener hidrocarburos del agua, específicamente de la fracción diesel, para lo cual se aplicó la norma internacional para materiales sorbentes ASTM F-726 y se determinaron las concentraciones residuales de hidrocarburos en el agua mediante espectrometría UV a 334nm. La eficiencia de disminución de hidrocarburos alcanzó el 97,42% utilizando partículas de 6 x 6 cm; se analizó además el rendimiento de sorción del pseudotallo obteniéndose que puede retener hasta 8,91 veces su peso, siendo esta capacidad incluso mayor que algunos sorbentes comerciales, convirtiéndolo en un eficiente bioadsorbente de hidrocarburos de agua contaminada en condiciones de laboratorio. El pseudotallo resultante con los hidrocarburos retenidos fue utilizado como sustrato para cultivar *P. ostreatus*, obteniendo un crecimiento limitado por las altas concentraciones de hidrocarburos en el pseudotallo. Se recomienda probar este material bioadsorbente en una prueba piloto en condiciones reales de contaminación.

## **PALABRAS CLAVE**

BIOTECNOLOGIA// BIORREMEDIACION// BIOSORBENTES// PSEUDOTALLO//  
BIOADSORCIÓN// HIDROCARBUROS// HONGO (*Pleurotus ostreatus*)

## ABSTRACT

In the present work on the bioadsorbent capacity of the pseudostem of *Dominico harton* to retain hydrocarbons of the water, specifically of the diesel fraction, for which the international norm ASTM F-726 for absorbing materials was applied and they determined the residual concentrations of hydrocarbons in the water by UV Spectrometry to 334nm. The efficiency of reduction of hydrocarbons reached 97.42% using particles of 6x6 cm; it was also analyzed the performance of pseudostem sorption, getting that it can retain up to 8.91 times of its weight, being this capacity even greater than some commercial sorbents, converting it into an efficient bioadsorbent hydrocarbons of contaminated water under laboratory conditions. The resulting pseudostem with retained hydrocarbons was used as a substrate to cultivate *P. ostreatus*, obtaining a growth limited by the high concentrations of hydrocarbons in the Pseudostem. It is recommended to test this biosorbent material in a pilot test under real conditions of contamination.

KEYWORDS: <Biotechnology >, <Bioremediation>, <Biosorbents>, <Pseudostem>, <Bioadsorption>, <Hydrocarbons>, <Mushrooms> (*Peurotus ostreatus*)

## INTRODUCCIÓN

El petróleo es la materia prima que mueve la economía de los países, muchos de los cuales tienen una dependencia directa a este recurso no renovable, por lo que centran sus esfuerzos en mejorar la producción cada año. Ecuador es un país que ha basado su economía en la actividad petrolera en los últimos 50 años. Las zonas de mayor producción se encuentran ubicadas en la zona noreste del país, en la Amazonía ecuatoriana.

La actividad petrolera, genera un impacto ambiental significativo debido a la extracción de petróleo y sus derivados, así como la disposición de lodos, rípios de perforación y de aguas de formación, como consecuencia de derrames o desbordamiento de piscinas que las contienen, por lo que comúnmente llegan a los cursos hídricos sin pasar por un tratamiento previo; además, las embarcaciones internacionales que transportan petróleo dejan a su paso grandes derrames en el mar, generando las conocidas mareas negras. Todo esto ha dado lugar a la contaminación de recursos hídricos que son utilizados para fines recreativos y de consumo por las poblaciones y que, sobre todo en las zonas de explotación más grandes del país, ubicadas en el nororiente ecuatoriano, son cursos hídricos importantes para los ecosistemas naturales de la Amazonía.

Ante esta realidad, surge la necesidad de encontrar métodos o alternativas de tratamiento que permitan la reducción de contaminantes en el agua, mejorando así su deficiente calidad, que en la actualidad genera dificultades tanto en el consumo como en el normal desarrollo de las actividades de las poblaciones. Por tal razón, se pretende determinar la capacidad de adsorción del pseudotallo del plátano *Dominico harton* para retener hidrocarburos contenidos en aguas contaminadas; que de acuerdo a De Sousa (2014, p. 2688) constituye un potencial biomaterial sorbente de safranina, por lo que pudiera emplearse para retener hidrocarburos presentes en descargas, garantizando la reducción de dicho contaminante. Adicionalmente, una vez utilizado el pseudotallo como material adsorbente, con el contaminante retenido en él, tendrá una disposición final que garantice un tratamiento integral a favor del ambiente.

Los materiales sorbentes utilizados para el control de vertidos petroleros, suelen ser de origen sintético, lo que dificulta la degradación luego de su uso. Sin embargo, existen materiales de procedencia natural que debido a sus estructuras pueden separar los contaminantes del agua mediante la sorción. Uno de estos biomateriales es el pseudotallo del plátano, un residuo generado en la cosecha del plátano *Dominico harton*, que es cultivado en la región costa y Amazonía del Ecuador.

Al determinar la capacidad del pseudotallo para adsorber hidrocarburos del agua, este residuo se podría aprovechar para facilitar los procesos de remoción de hidrocarburos de aguas contaminadas por la actividad petrolera. Consecuentemente, el aprovechamiento de los residuos de plátano disminuiría los costos de remediación del agua contaminada por hidrocarburos, favoreciendo a las empresas en el ámbito económico, a los ecosistemas del componente ambiental y a la población en el componente social ya que, al mejorar la calidad del agua mejora la calidad de vida de los pobladores que la utilizan.

Para la determinación de la capacidad de adsorción del pseudotallo del plátano *Dominico harton*, se trabajará de acuerdo a la norma ASTM F-726, separándose tres tipos de partículas del material diferenciadas por su tamaño, a cada una de las cuales se realizará una prueba dinámica, prueba corta y prueba larga de adsorción, trabajando con cinco repeticiones en cada prueba para asegurar la confiabilidad de los resultados. Se analizará la capacidad de retención de hidrocarburos mediante la determinación de la concentración de hidrocarburos retenidos en el pseudotallo de plátano, utilizando el método de determinación por espectrometría UV que determina la variación de concentraciones por medición de la absorbancia, además del método por gravimetría según la norma ASTM F-726.

La importancia de esta investigación radica en el significativo aporte a la solución del grave problema ambiental de contaminación del agua, empleando un tratamiento integral pues, como resultado se obtendrá agua con concentraciones de hidrocarburo al menos 50% menores a las iniciales, comprobando que el pseudotallo del plátano *Dominico harton* puede adsorber los hidrocarburos del agua y actuar posteriormente como sustrato, por medio de la aplicación de un proceso biotecnológico sencillo como la fermentación, para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, conocido por ser un excelente degradador de material lignocelulósico, de hidrocarburos y otros agentes contaminantes (Sifuentes Vásquez, 2014 p. 42).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Determinar la bioadsorción de hidrocarburos de agua contaminada utilizando el pseudotallo del plátano *Dominico harton* y su posterior aprovechamiento integral como sustrato para cultivo de *Pleurotus sp.*

### **Objetivos Específicos:**

- Realizar la caracterización fisicoquímica del pseudotallo del plátano *Dominico harton*.
- Realizar la caracterización fisicoquímica de las aguas contaminadas con hidrocarburos.
- Determinar la capacidad de adsorción del pseudotallo de *Dominico harton* para retener hidrocarburos.
- Emplear el pseudotallo con los hidrocarburos retenidos, como sustrato para el cultivo de *Pleurotus sp.*

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Hidrocarburos:

Los Hidrocarburos totales de petróleo (TPH), son una mezcla de productos químicos originados de petróleo crudo, que contienen un alto peso molecular, son insolubles en agua y están compuestos principalmente por carbono e hidrógeno (Vallejo et al, 2005: pp. 67-68). El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos que se da de forma natural, la cual contiene pequeñas cantidades de oxígeno, azufre, nitrógeno y metales que constituyen la parte contaminante.

Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada, por lo que lo útil es medir la cantidad total de TPH en un sitio. (ATSDR., 2016)

Conforme a su estructura, los hidrocarburos se pueden clasificar en dos grupos principales: alifáticos y aromáticos. Los hidrocarburos alifáticos se pueden subdividir en familias como los alcanos, alquenos, alquinos, y alicíclicos.

Cuando los átomos de carbono están unidos por un enlace simple entre ellos, se habla de hidrocarburos saturados, que al ser de cadena abierta representa a las parafinas, alcanos o hidrocarburos de la serie del metano; si son de cadena cerrada representan las cicloparafinas o naftenos. (Cortés y Villamizar, 2000a: p. 23)

Cuando los átomos de Carbono están unidos entre sí por un doble enlace, se tienen los alquenos, también conocidos como oleofinas o hidrocarburos de la serie del eteno. En cambio, cuando los átomos de carbono están unidos entre sí por un triple enlace, se tienen los alquinos, o hidrocarburos de la serie del etino, que son isómeros de las diolefinas.

Los isómeros son compuestos con la misma fórmula, pero que tienen diferente estructura, lo que les brinda diferentes propiedades.

Las parafinas son estables y químicamente inertes, pero las oleofinas, debido a su carácter insaturado, se combinan con muchas sustancias por adición. Conforme va aumentando el número de

carbonos en la molécula de hidrocarburos, esta va aumentando su densidad, es decir se va haciendo más pesada, por lo que su estado físico en condiciones normales pasa del gaseoso al líquido y luego al sólido.

La proporción de los compuestos (parafinas, oleofinas, naftenos y aromáticos) determina las propiedades que inciden en la calidad y tratamiento de los derivados. El análisis que determina la distribución de esta serie de hidrocarburos es el PONA (parafinas, oleofinas, naftenos y aromáticos).

### **1.1.1. Gravedad API:**

En la industria petrolera se utiliza la expresión Gravedad API para referirse a la densidad, propiedad física de la masa de su unidad de volumen. La Gravedad API está referida a 60°F (15.56°C), siempre que no se especifique otra temperatura. (Cortés y Villamizar : p. 31)

#### **Ecuación 1-1: Gravedad API**

$$Gravedad\ API = \frac{145}{Gravedad\ específica\ \frac{60}{60}^{\circ}F} - 131.5$$

El agua a 60°F tiene un Gravedad API de 10 por lo que, líquidos con menor densidad que el agua tienen una gravedad API mayor a 10 y líquidos con mayor densidad que el agua tienen una Gravedad API menor a 10.

En función de la Gravedad API, los crudos pesados son aquellos cuyo valor fluctúa entre 16°API y 24°API, crudos medianos son aquellos que se encuentran entre 24°API y 32°API y crudos livianos son aquellos que superan los 32°API. Esta clasificación se refiere a los crudos “líquidos”, ya que los crudos muy pesados, conocidos como bitúmenes, son semisólidos o sólidos a temperatura ambiente, por lo que su viscosidad sobrepasa los 10000 centipoises y puede acercarse al millón, tiene alto contenido de azufre (3% en peso) y su contenido de asfaltenos puede ser del 50%.(Cortés y Villamizar, 2000c: p. 32) Los crudos pesados y bitúmenes son importantes por su alto volumen de

reservas, incluso cuando sus costos de explotación y refinación son moderadamente más altos que los de los crudos medianos y livianos.

### ***1.1.2. Afectaciones a la salud***

Los compuestos de las fracciones de los TPH afectan la salud de manera diferente. Algunos componentes, especialmente los compuestos más pequeños como el benceno, tolueno y xileno, pueden afectar el sistema nervioso de seres humanos. Las exposiciones a cantidades suficientemente altas pueden ser fatales. La inhalación de concentraciones de benceno más altas de 100 partes por millón (100 ppm) durante varias horas puede producir fatiga, dolor de cabeza, náusea y adormecimiento. (ATSDR., 2016a)

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el benceno, es carcinogénico en seres humanos. Se considera que otros componentes de los TPH o productos del petróleo, por ejemplo, el benzo(a)pireno y la gasolina pueden probablemente producir cáncer en seres humanos basado en estudios de cáncer en seres humanos y en animales. (ATSDR., 2016b)

Uno de los componentes de los TPH, el n-hexano, puede afectar el sistema nervioso central de manera diferente, produciendo una alteración de los nervios, caracterizada por pérdida de la sensación en los pies y las piernas y, en casos graves, parálisis. Los componentes de algunas fracciones de los TPH también pueden afectar la sangre, el sistema inmunitario, el hígado, el bazo, los riñones, los pulmones y el feto. Algunos componentes de los TPH pueden irritar la piel y los ojos, mientras que otros, por ejemplo, algunos aceites minerales, no son muy tóxicos y se usan en alimentos. (ATSDR., 2016c)

### ***1.1.3. Petróleo en Ecuador.***

En Ecuador, la principal fuente de captación de divisas en la economía es la exportación de petróleo y sus derivados. “La tasa de producción anual de petróleo es casi de 380.000 barriles de petróleo por día, de los cuales el 0.4% corresponden a la región del litoral y el 99.6% a la Amazonía. El 86% corresponde a los 34 campos de Petroproducción y el 14% a las empresas privadas” (Oilwatch, 2005)

La actividad petrolera en Ecuador tiene dos momentos marcados en la historia. El primero de 1911 a 1960, en el cual la zona de exploración y explotación se centraba en la Península de Santa Elena, costa ecuatoriana, de donde se extraía crudo liviano de más de 32° API, con una tecnología aplicada de tipo primaria y en cuya contratación pública no se consideraba el impacto social, ni ambiental que se podía generar. Las compañías extranjeras operaban legalmente por medio de las concesiones. (FLACSO, 2003a: p.11 )

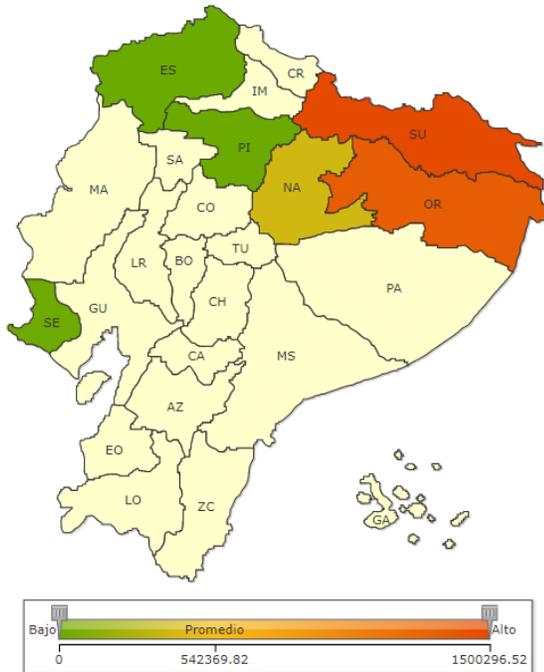
El segundo momento se inició en 1970, con el descubrimiento del campo Lago Agrio en la región amazónica. En el año 2001 la construcción del oleoducto de crudos pesados, para el transporte del crudo desde dicho punto hasta la refinería en la costa ecuatoriana, implicó una constante presión a los recursos naturales y culturales de la zona. (FLACSO, 2003b: p.11 )

#### ***1.1.4. Contaminación por Hidrocarburos:***

En Ecuador, según el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) del Ministerio del Ambiente, las principales afectaciones ambientales están asociadas directamente a las malas prácticas ambientales desarrolladas por las operadoras. Entre dichas prácticas se puede mencionar derrames, construcción de piscinas sin diseño técnico, vertimiento de aguas de formación, quema de gas. Los grandes daños a los ecosistemas naturales y a sus componentes, son generados por las afectaciones ambientales mencionadas. (MAE, 2017)

Los TPH son liberados al ambiente debido a accidentes desde industrias, o como productos secundarios por su uso comercial o privado. Cuando hay escapes o derrames de TPH directamente al agua, algunas fracciones de los TPH flotan en el agua y forman una capa delgada en la superficie. Otras fracciones más pesadas se acumulan en el sedimento, lo que puede afectar a peces y a otros organismos que se alimentan en el fondo. Algunos organismos en el agua (principalmente bacterias y hongos) pueden degradar algunas de las fracciones de TPH. Los TPH que son liberados al suelo pueden filtrarse hacia el agua subterránea a través del suelo. Allí, los componentes individuales pueden separarse de la mezcla original dependiendo de las propiedades químicas de cada componente. Algunos de estos componentes se evaporan al aire y otros se disuelven en el agua subterránea y se alejan del área donde fueron liberados. (ATSDR., 2016d)

Los gráficos a continuación, presentan la afectación ambiental por derrames, fosas y piscinas de formación en el año 2015, de acuerdo a la división político administrativa del país:



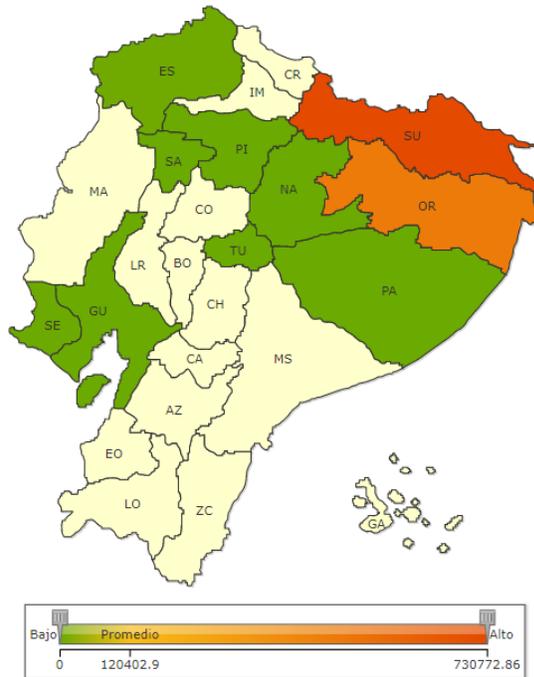
**Figura 1-1: Área afectada (Ha) a nivel nacional por derrames de petróleo**

Fuente RAS,2015



**Figura 2-1: Área afectada a nivel nacional por la presencia de fosas petroleras**

Fuente: PRAS, 2015



**Figura 3-1: Área afectada a nivel nacional por piscinas de aguas de formación.**

Fuente: PRAS, 2015

### ***1.1.5. Contaminación de Aguas:***

La contaminación del agua se refiere a la modificación que sufre las condiciones naturales del agua, por agentes externos o extraños a su entorno.

Con el inicio de la explotación petrolera también iniciaron las descargas directas de aguas de formación al suelo y a los ríos, dichas aguas con una salinidad 6 veces superior a la del mar, con restos de hidrocarburos y materiales pesados; también se produjeron derrames de crudo sobre el suelo, generando contaminación de los ecosistemas terrestres y acuáticos de la Amazonía, con hidrocarburos tóxicos considerados contaminantes orgánicos persistentes que se transportan a largas distancias y cuya presencia implica riesgos a la salud del ser humano y del ambiente (CEPAL, 2012).

### ***1.1.6. Procesos de recuperación de hidrocarburos***

Los procesos de recuperación y las medidas para combatir los derrames de hidrocarburos varían de acuerdo a las condiciones y circunstancias propias de cada caso, además a medida que el tiempo

pasa y la situación de contaminación va cambiando, unas técnicas pueden hacerse ineficaces y otras podrían resultar más adecuadas.

Entre las posibles opciones de respuesta más aplicadas actualmente a nivel mundial están las siguientes:

1. Barreras de contención para impedir que la descarga inicial se propague, cercar los hidrocarburos para su recuperación o para desviarlos hacia zonas en las que se pueda recuperarlos con mayor facilidad.
2. Contención y recuperación de hidrocarburos en el agua. En ciertas circunstancias, lo apropiado sería contener los hidrocarburos flotantes con barreras remolcadas tras los buques.
3. Hacer arder los hidrocarburos flotantes, retenidos en barreras, en lugar de recogerlos y proceder luego a su eliminación.
4. Dispersión química de hidrocarburos. En ciertas circunstancias, lo apropiado sería aumentar la dispersión de hidrocarburos desde la superficie a la columna de agua mediante la aplicación de dispersantes químicos.
5. Raseras. Se utiliza unos dispositivos remolcados en los buques para realizar una especie de barrido sobre las aguas y recoger los hidrocarburos flotantes.
6. Sorbentes. Comprenden una variedad de productos utilizados para absorber los hidrocarburos en lugar del agua. Se emplean como alternativa para pequeñas manchas y en aguas que dificulten la recuperación por raseras.

#### ***1.1.7. Métodos de determinación de Hidrocarburos en el agua***

La selección del método debe corresponder a un equilibrio entre costos, riesgos y posibilidades técnicas. Los factores a tomar en cuenta para la selección de un método serán de acuerdo a los resultados que se espera obtener, sin embargo, se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros de un método:

1. Límite de detección instrumental: Mínima cantidad de analito que puede ser detectada por el equipo, con un nivel de confianza determinado, pero su cuantificación no necesariamente corresponde a un valor exacto. Comúnmente se expresa como concentración de analito.

2. Límite de cuantificación del método: Concentración mínima de un analito que puede ser cuantificada con un 99% de certeza, que es diferente de cero. Valor mínimo que puede ser medido bajo condiciones de exactitud y precisión aceptables.
3. Linealidad: Habilidad de un sistema o método analítico para generar una señal proporcional a la concentración del analito de prueba.
4. Sensibilidad: cambio en la respuesta analítica producida al modificar la concentración o masa de un analito.
5. Precisión: Grado de concordancia entre resultados individuales cuando el método analítico se aplica de forma repetida a diferentes alícuotas de una muestra homogénea.
6. Repetibilidad: Precisión obtenida bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo corto de tiempo y por un mismo analista, en la misma muestra homogénea y en el mismo equipo.
7. Repetibilidad intermedia: Precisión determinada cuando se analizan réplicas de un patrón o muestra, durante varios días, por más de un analista, en diferentes equipos.
8. Exactitud: Proximidad entre el resultado de una medición y el valor verdadero, se expresa como porcentaje de error.
9. Recuperación: Capacidad de un procedimiento analítico para determinar cuantitativamente una especie química que ha sido adicionada a una muestra.
10. Rango de trabajo: Rango dentro del cual el método es aplicable, sin afectar la precisión ni exactitud de los resultados.
11. Incertidumbre: Duda sobre la validez de un resultado, como también sobre su exactitud, generalmente toma forma de un rango.

Existen métodos utilizados para la determinación de hidrocarburos en aguas contaminadas, algunos incluyen su extracción del agua y la posterior determinación de su concentración.

Entre dichos métodos se puede nombrar la cromatografía gaseosa, los métodos de partición gravimétrica y los métodos espectroscópicos infrarrojo y ultravioleta. Cada método con sus limitaciones, ventajas y desventajas, utilizados de acuerdo al resultado que se desea obtener. Los métodos instrumentales representan un elevado costo de equipamiento y requieren patrones de alta pureza de hidrocarburos en la contaminación. La cromatografía gaseosa es el método con mayor sensibilidad de los señalados, contrario a los métodos de partición gravimétrica y extracción que presentan una baja sensibilidad (mayor que 10 mg/L). Para el método infrarrojo (IR) los valores de detección que puede presentar son de orden 0,2mg/L (Otálora, 2012: p.15).

Uno de los métodos más utilizados es el de espectroscopía. La cual se define como una medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de la radiación. La espectroscopía se basa en la interacción materia-radiación electromagnética a una determinada longitud de onda.

## **1.2. Espectroscopía**

Dentro de la espectroscopía, tomamos en cuenta de dos tipos, Ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR). La espectroscopía UV se basa en la detección de transiciones electrónicas, es decir, la promoción de electrones de un nivel de energía a otro. En vista de que hay gran energía asociada a la espectrometría UV, la absorción se observa como una banda bastante ancha, conocida como pico o envolvente, y que se presenta debido a la influencia de la vibración y rotación molecular.

Cuando una molécula absorbe una radiación electromagnética con energía igual a la diferencia de energías entre dos niveles, un electrón se promueve de un nivel energético en el estado fundamental a otro nivel en el estado de excitación. Dicha transición electrónica se da en  $10^{-16}$  segundos, de una manera tan rápida que no afecta a la estructura de la molécula.

### ***1.2.1. Espectroscopía UV***

Para registrar un espectro UV se debe determinar cuánta energía se absorbe en una determinada longitud de onda. Los disolventes utilizados para disolver compuestos orgánicos también suelen absorber pequeñas cantidades de radiación, por lo que el espectro resultante corresponde al soluto y disolvente.

La longitud de onda a la que absorbe radiación una molécula orgánica depende de la fortaleza de enlace de sus electrones. Los electrones compartidos en enlaces simples (C-C) están unidos con mucha firmeza y su excitación requiere energías correspondientes a la longitud de onda de la región UV al vacío, inferior a 180nm en la cual se presentan dificultades experimentales para trabajar, debido a que el cuarzo y los componentes atmosféricos absorben radiación en esta región, por tal razón no se utilizan espectros de enlace simple para fines analíticos, ya que sería necesario un espectrofotómetro al vacío con elementos ópticos de cloruro de litio.

Los electrones de enlaces dobles y triples de moléculas orgánicas, están unidos con menor fuerza, lo que permite su excitación con mayor facilidad, por lo que las especies con enlaces no saturados

exhiben picos de absorción muy útiles para fines analíticos. Los alquenos, alquinos, compuestos aromáticos, entre otros, presentan una transición de interés ( $\pi \rightarrow \pi^*$ ) en una longitud de onda de 200 a 500nm.

Los compuestos orgánicos saturados que contienen heteroátomos como O, N, S o halógenos, tienen electrones no compartidos que se pueden excitar con radiación en el intervalo de 170 a 250nm. Algunos como alcoholes y éteres, son disolventes comunes, por lo que su absorción en esta región impide medir la absorción de analitos disueltos en dichos compuestos a longitudes de onda menores de 180 y hasta 200nm. En ocasiones, la absorción en esta región es utilizada para determinar compuestos que contienen halógeno y azufre.

#### *1.2.1.1. Medición de transmitancia y absorbancia:*

La transmitancia y absorbancia se miden en un espectrofotómetro. Para esto, ocurre una reflexión en las interfases aire-pared y pared-solución, lo que produce un haz resultante. La atenuación del haz resultante puede ocurrir por dispersión de moléculas grandes, o en ocasiones por absorción de las paredes del recipiente; Para compensar dicha atenuación, la potencia(P) del haz transmitido por la solución del analito es comparada comúnmente con la potencia del haz transmitido por una celda idéntica que contiene solamente solvente ( $P_0$ ).

La luz pasa por un monocromador (prisma, filtro, rejilla de difracción) que aísla las radiaciones heterocromáticas que inciden o se reflejan desde el objeto, seleccionando una banda estrecha de longitudes de onda de luz incidente. La luz monocromática atraviesa la muestra de espesor conocido, contenida en una celda de material que permite el paso de la radiación en la región espectral que interesa, y mide, utilizando un detector, la potencia radiante de luz que sale.

#### *1.2.1.2. Ley de Lambert – Beer:*

Considera la relación entre el poder de radiación de la luz incidente y el de la transmitida, en función de la longitud de paso óptico y de la concentración de la especie absorbente. Esta ley permite corregir la dependencia de la concentración y otros factores operacionales al comparar distintos compuestos y sirve como base de todas las determinaciones cuantitativas prácticas. Matemáticamente, esta ley combinada puede expresarse como:

### **Ecuación 2-1:** Ley de Lambert Beer

$$\log\left(\frac{P_0}{P}\right) = k \cdot b \cdot c$$

Donde:

$P_0/P$  es la absorbancia (A).

$k$  es la constante de proporcionalidad.

$b$  es la longitud de paso óptico.

$c$  es la concentración de la especie absorbente.

#### *1.2.1.3. Absortividad y Absortividad Molar:*

Partiendo de la Ley de Beer se conoce que la absorbancia es directamente proporcional a la longitud del camino  $b$  a través de la solución, y a la concentración  $c$  de la especie absorbente; lo cual puede expresarse como:

### **Ecuación 3-1:** Ecuación de la Absorbancia

$$A = a \cdot b \cdot c$$

Donde:

$a$  es la constante de proporcionalidad (absortividad), el cual es un coeficiente característico de la sustancia absorbente a cada longitud de onda. Su magnitud depende de las unidades empleadas en  $b$  (cm) y  $c$  (g/L),  $a = L/g \text{ cm}$ .

### **Ecuación 4-1:** Absorbancia en función de la constante de proporcionalidad

$$A = \varepsilon \cdot b \cdot c$$

Donde:

$\varepsilon$  es la absortividad molar, cuya concentración ( $c$ ) se expresa en mol/L y  $b$  se expresa en cm,  $A = L/mol \text{ cm}$ .

#### *1.2.1.4. Curva de calibración:*

El espectro de una sustancia es la representación gráfica de la absorbancia (A) en función de la longitud de onda ( $\lambda$ ). Representa las ondulaciones con máximos y mínimos que se utilizan para hacer determinaciones cuantitativas, ya que se elige las longitudes de onda correspondientes a un máximo, porque el error de medición es mínimo y la sensibilidad es máxima.

La curva de calibración verifica el cumplimiento de la ley de Beer,  $A$  directamente proporcional a  $c$ . Se preparan diluciones de la sustancia de  $c$  conocida y se mide la absorbancia a la longitud de onda elegida.

#### *1.2.1.5. Limitaciones de la aplicabilidad a la Ley de Beer:*

Para la generalización de que  $A$  está relacionada directamente con  $b$  hay pocas excepciones, pero pueden presentarse desviaciones de la proporcionalidad directa entre la absorbancia media y  $c$ , a  $b$  constante. Por cuanto, las desviaciones fundamentales que representan limitaciones reales de la Ley de Beer pueden ser por la manera en que se realiza la medición de absorbancia, o por cambios químicos asociados a cambios en  $c$ , o desviaciones instrumentales.

#### *1.2.1.6. Limitaciones propias de la Ley de Beer:*

Esta ley es exitosa en describir el comportamiento de absorción de soluciones solamente diluidas. A concentraciones altas (mayores a 0,01M), la distancia promedio entre las especies responsables de la absorción, está disminuida al punto en que cada una afecta la distribución de cargas de sus vecinas. Esto puede alterar la habilidad de las especies para absorber en una longitud de onda de radiación, debido a que la extensión de la interacción depende de la concentración. Esto provoca desviaciones de la relación lineal entre  $A$  y  $c$ .

Otro efecto similar al ya descrito se da en ocasiones en soluciones que tienen elevadas concentraciones de otras especies, particularmente electrolitos, por lo que la proximidad de iones a la especie absorbente altera la absorptividad molar por atracciones electrostáticas. Este efecto se disminuye por dilución.

Hay ciertos iones y moléculas orgánicas grandes que son excepciones, ya que representan interacciones específicas por debajo de 0,01M. debido a que  $\epsilon$  es dependiente del índice de refracción de la solución, cambios de  $c$  provocan alteraciones en el índice de refracción de la solución, dando lugar a desviaciones de la Ley de Beer.

#### *1.2.2. Error fotométrico:*

El valor final de la transmitancia ( $T$ ) o absorbancia ( $A$ ) en una determinación fotométrica, tiene ciertos límites de exactitud y precisión. La calidad del instrumento, las condiciones imperantes

durante la medición, la reproducibilidad de los equipos, la habilidad del operador, entre otros factores, inciden en la confiabilidad del resultado.

El error fotométrico o ruido nos indica cómo afecta la precisión de la medición fotométrica al resultado de la determinación. Para un buen instrumento, el error fotométrico máximo es 0,2% T, que en condiciones óptimas de 37% de T produce un valor de  $c$  con una precisión de 0,5%.

### **1.2.3. Características del equipo:**

Hay tres tipos de quipos comercialmente:

1. Espectrofotómetros dispersivos de red que se utilizan principalmente para análisis cualitativos.
2. Instrumentos multiplex que emplean la transformada de Fourier, adecuados para la medición en el infrarrojo cualitativa como cuantitativa.
3. Fotómetros no dispersivos desarrollados para la determinación cuantitativa de diversas especies orgánicas en la atmosfera por espectrometría de absorción, de emisión y de reflectancia.

Todos los instrumentos utilizan filtros o monocromadores para aislar una región del espectro para la medida, exceptuando el multiplex, que obtiene información espectral sin dispersar o filtrar primero la radiación, para proporcionar las longitudes de onda de interés.

### **1.3. Materiales sorbentes**

Los materiales sorbentes son aditivos que poseen propiedades de absorción y adsorción. La adsorción es el fenómeno físico de adhesión de un fluido a la superficie del aditivo sin que se produzca ninguna reacción química, en cambio la absorción es la capacidad de capturar cierto volumen de fluido dentro de los espacios porosos característicos de las estructuras de los materiales, permitiendo acumular y retener hidrocarburos por medio de la acción capilar, osmótica o química, incorporándose así al cuerpo del material. (Silos Rodríguez, 2008a: p.223).

Rincones cita a GeankoplisC., (1998) y McCabe W, (1991) para explicar que, en los procesos comerciales de adsorción, el adsorbente generalmente tiene forma de partículas pequeñas en un lecho fijo, el fluido se hace pasar por el lecho fijo y las partículas sólidas absorben las sustancias que se desea separar, denominada adsorbato. La concentración del adsorbato en la fase fluida y en

la fase adsorbente cambian con el tiempo y la posición en el lecho conforme se lleva a cabo la adsorción. La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de sus características y composición, además de la temperatura. (Rincones Poyer et al, 2015a: p.442)

### **1.3.1. Propiedades de un sorbente:**

El material sorbente utilizado para la contaminación por hidrocarburos debe poseer las siguientes propiedades: Alta capacidad de absorción para diferentes tipos de petróleo, alta repelencia al agua, alta capacidad de retención, valor de gravedad específica para que el conjunto sorbente/hidrocarburo permanezca a flote (Silos Rodríguez, 2008b: p.225), fácil manipulación y fácilmente recuperable tras sus uso (Organización Marítima Internacional, 2005).

#### **1.3.1.1. Porosidad:**

Medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee un material y se define como la fracción del volumen total del material que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos, representado por la siguiente ecuación (Da Silva, 2012):

#### **Ecuación 5-1: Porosidad**

$$\emptyset = \frac{\partial r - \partial ap}{\partial r}$$

Donde:

$\emptyset$ : porosidad

$\partial r$ : densidad real,

$\partial ap$ : densidad aparente.

Debido a que, el volumen de espacios disponibles para almacenar fluidos no puede exceder al volumen total del material, la porosidad es una fracción por lo que el máximo valor teórico que puede alcanzar es 1 (asumiendo que no existiese matriz, lo que no es físicamente posible). Una forma de expresar la porosidad es como un porcentaje, esta cantidad resulta de multiplicar la ecuación anterior por 100.

#### **1.3.1.2. Permeabilidad:**

Capacidad de un material para permitir el flujo de fluidos a través de sus poros interconectados. Si dichos poros no se encuentran interconectados, no puede haber permeabilidad. (Da Silva, 2012)

### ***1.3.2. Limitaciones al uso de los sorbentes:***

El uso de los sorbentes está limitado por:

1. Tipo de petróleo: por sus características físico-químicas los sorbentes son más efectivos en crudos de baja y media viscosidad.
2. Temperatura ambiental: La viscosidad del petróleo cambia con la temperatura ambiental. Dicho cambio puede afectar la eficacia del sorbente que teóricamente era adecuado.
3. Tiempo de contacto: Es el parámetro de mayor importancia a la hora de medir la eficacia del método. Se espera que a mayor tiempo de contacto mayor cantidad absorbida.
4. Tiempo de exposición: Si el derrame lleva bastante tiempo expuesto a condiciones del ambiente, se puede producir emulsiones de agua en petróleo que pueden disminuir la eficacia del sorbente.
5. Agua: Todos los sorbentes tienden a absorber agua.

(Silos Rodríguez, 2008c: p.229)

### ***1.3.3. Tipos de materiales sorbentes:***

De acuerdo a la Organización Marítima Internacional (2005) existen 3 tipos de materiales sorbentes:

1. Materiales inorgánicos (vermiculita o vidrio volcánico)
2. Materiales sintéticos (fibra de polipropileno)
3. Materiales orgánicos naturales (turba, pulpa, algodón, corteza de pino)

### ***1.3.4. Biosorbentes***

Los materiales sorbentes hidrofóbicos más comunes con base en polipropileno o poliuretano presentan la desventaja de no ser biodegradables, por lo que el uso de fibras naturales ha sido de gran atención en los últimos años, especialmente cuando provienen de residuos abundantes. (Rincones Poyer et al, 2015b: p.442)

En la etapa inicial de sorción el hidrocarburo es sorbido por algunas interacciones y fuerzas de Van der Waals entre el hidrocarburo y las ceras que se encuentran sobre la superficie de la fibra, esto se debe a que la cera y el hidrocarburo son químicamente similares además de adherirse por la superficie irregular que presenta el material. Del mismo modo, la sorción dentro de la fibra ocurre por difusión a través de un movimiento capilar interno. (Ortiz González et al, 2005: p.6)

Del análisis bibliográfico se puede citar varios estudios respecto a diversas fibras naturales en el tratamiento de aguas. Dichos estudios se centran en parámetros específicos y característicos: Ortiz Gonzáles evaluó la capacidad de sorción de hidrocarburos utilizando fibras de caña, coco y buchón de agua, Rincones Poyer (2015) propuso un sistema de tratamiento para aguas aceitosas basado en el potencial adsorbente del bagazo de caña de azúcar con propiedades hidrófobas mejoradas con surfactantes, Cuadrado (2017) utilizó la fibra del raquis de banano como lecho filtrante para la disminución del color de aguas residuales de curtiembre, entre otros estudios.

### 1.3.5. *Pseudotallo del plátano como biosorbente*

La variedad de plátano *Dominico harton* es de la especie *Musa paradisiaca*. Su valor nutritivo radica fundamentalmente en su contenido de carbohidratos. Además, es un alimento extremadamente acuoso, por lo tanto, voluminoso: cerca de las dos terceras partes de las mismas son agua. (Izquierdo Oviedo, 2009: p.49)

**Tabla 1-1:** Taxonomía del plátano

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Musaceae
<b>Género</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie</b>	<i>paradisiaca</i>

Fuente: Molina Morales, 2016

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Molina cita a Belalcázar (1991) para explicar que el género *Musa* abarca una cincuentena de especies con taxonomía confusa, así como decenas de híbridos, entre los cuales se cuentan *Musa acuminata*, *Musa balbisiana* y *Musa paradisiaca*. (Molina Morales, 2016, p.16).

La planta de plátano es herbácea perenne y su pseudotallo está constituido a partir de las vainas foliares, generalmente son de gran tamaño, a veces parcialmente leñosas. Las hojas son grandes,

simples, enteras, con vaina y normalmente con pecíolo, éstas parten del tallo subterráneo rizomatoso y las vainas están dispuestas en espiral apretadas unas con otras, constituyendo el falso tronco. Las flores hermafroditas o unisexuales, cuya inflorescencia es en espiga o en panícula y sus frutos son abayados o capsulares (Belalcázar Carvajal, 1991, p.258).

En la cosecha se corta la planta para descender el racimo, generándose como residuos lignocelulósicos el tallo y las hojas. En las empresas comerciales, una vez que el racimo llega a la planta de empaquetado se genera otro residuo, el raquis del racimo. La relación entre residuo y producto de plátano es de 2:1 (Guerrero et al, 2015, p.405).

Debido a que las características físico químicas de un material nos pueden dar indicios sobre su utilidad, sin embargo, es importante determinar la fuente de la fibra con la que se trabaja porque existen variaciones dentro de una misma especie.

El pseudotallo del plátano ha sido utilizado como material sorbente de colorantes orgánicos, obteniéndose resultados que demuestran su eficiencia como sorbente de safranina de la solución acuosa con dependencia de absorción al pH, concentración de colorante y temperatura. (de Sousa, 2014, p. 2681)

### ***1.3.6. Disposición final del biosorbente***

Los sorbentes recuperados suelen almacenarse temporalmente y posteriormente se procesan o eliminan. Separar los hidrocarburos del sorbente es difícil y, de llegar a lograrlo, esto sería de forma parcial, por lo que la reutilización del sorbente no es una solución viable.

Sin embargo, al hablar de biosorbentes se debe tomar en cuenta que éstos son materiales de origen orgánico, por lo que contrario a los sorbentes comerciales sintéticos presentan la ventaja de fácil biodegradación como alternativa de disposición final.

Actualmente numerosos estudios han confirmado la capacidad de degradación de hidrocarburos que tienen ciertos hongos, entre los cuales destaca el género *Pleurotus*, un tipo de hongo Basidiomiceto utilizado en los últimos años en biorremediación.

La biorremediación consiste en la utilización de organismos vivos, principalmente microorganismos y plantas, sus productos o procesos, para modificar, degradar o descomponer ciertos contaminantes y de esta forma recuperar ambientes contaminados.

## 1.4. Hongos

Los hongos son organismos heterótrofos, es decir no producen su propio alimento por lo que deben tomarlo de otras fuentes. Para esto utilizan enzimas de digestión externas que secretan al medio y degradan la materia orgánica a moléculas sencillas de fácil absorción mediante sus membranas y pared celular.

De acuerdo a la forma de adquirir nutrientes y energía, los hongos se clasifican en tres grupos:

1. Parásitos: Obtienen sus nutrientes de la materia orgánica proveniente de otros seres vivos. Suelen causar enfermedades y pueden llegar a causar la muerte del huésped.
2. Simbiontes: Obtienen sus nutrientes mediante una interacción benéfica con otros seres vivos. Un ejemplo de este grupo son las micorrizas, que involucra a hongos y raíces de los vegetales, en esta los hongos transportan agua y ciertos minerales a la planta y ésta recibe azúcares y otras sustancias de su interés.
3. Saprófitos: Sus nutrientes son obtenidos de la materia orgánica muerta, principalmente de polisacáridos y otros biopolímeros. Son importantes en los ciclos de macroelementos y sustancias importantes para la vida.

De éstos, los simbiontes y saprófitos pueden ser cultivados bajo ambiente controlado debido a que son independientes de otros seres vivos, por lo que sólo necesitan un sustrato lignocelulósico determinado y condiciones de temperatura, humedad y luz adecuadas para crecer y reproducirse. Si es un degradador primario basta con sustratos como desechos agroforestales frescos, pajas de cereales o aserrines y virutas; si es degradador secundario, el sustrato necesita un proceso de composteo previo (Sifuentes Vásquez, 2014, p.42).

El proceso de utilización de hongos para degradar o remover contaminantes de un medio se conoce como micorremediación. Los Basidiomicetos, llamados también hongos de pudrición blanca, son conocidos por degradar y mineralizar la lignina y abarcan las especies con mejores características para su uso en micorremediación.

Varios autores han estudiado la capacidad de estos hongos para degradar diversos contaminantes como el DDT, hidrocarburos policíclicos aromáticos, dioxinas y otros contaminantes organoclorados (Soares, 2011, p.341). También se ha estudiado la capacidad para degradar o modificar, además de la lignina, diversos sustratos como pulpas papeleras, clorofenoles, etc. (Quintero et al, 2006, p.62) siendo las especies más estudiadas y eficaces: *Trametes versicolor*,

*Grifola frondosa*, *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Phanerochaete chrysosporium* entre otras.

La capacidad de los hongos de podredumbre blanca para degradar lignina es debida a un sistema de enzimas lignolíticas extracelulares. De las cuales las mejor caracterizadas son la Lignina Peroxidasa (LiP), Manganese Peroxidasa (MnP) y Lacasa (LAC). El patrón de expresión de estas enzimas depende del organismo, así, algunos secretan LiP y MnP sin producir LAC, mientras otros secretan MnP y LAC, pero no LiP (Hatakka, 1994, p.128). La habilidad de estas enzimas para degradar lignina y otros compuestos recalcitrantes como los compuestos aromáticos, confirma su naturaleza inespecífica en la cual radica el interés de aplicación en áreas como la biorremediación.

Los microorganismos degradan fácilmente los hidrocarburos lineales y alifáticos. Sin embargo, la degradación de hidrocarburos aromáticos se dificulta a medida que aumenta el número de anillos y con ello su peso molecular. Es por ello que se utiliza estos hongos cuya capacidad para oxidar HAP ha sido demostrada, en especies como *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus* (Singh, 2006, p.592).

#### 1.4.1. *Pleurotus ostreatus*

##### 1.4.1.1. Taxonomía y generalidades

La clasificación taxonómica de *Pleurotus ostreatus* se describe a continuación:

**Tabla 2-1:** Taxonomía de *Pleurotus ostreatus*

<b>Dominio:</b>	Eukaryota
<b>Reino:</b>	Fungi
<b>Phylum:</b>	Basidiomycota
<b>Clase:</b>	Homobasidiomicetos
<b>Orden:</b>	Agaricales
<b>Familia:</b>	Pleurotaceae
<b>Género:</b>	<i>Pleurotus</i>
<b>Especie</b>	<i>ostreatus</i>

Fuente: UniProt, 2017

*Pleurotus ostreatus* es un hongo saprófito del grupo de hongos de pudrición blanca más estudiado por sus excepcionales propiedades lignolíticas, crecimiento rápido y fácil manejo bajo condiciones de campo.

Tiene un micelio blanquecino, de crecimiento radial, cuya textura se torna rápidamente similar a la de algodón y conforme va envejeciendo forma una alfombra de micelio firme y delgado. En las setas el pie es lateral, por lo que su desarrollo es en forma de ostra u oreja. El término *Pleurotus*, deriva del griego “pleura” o “pleurón” que significa costado o lado y del latín “otus” que quiere decir oreja (Gaitán Hernández et al, 2006a: p.3).

A diferencia de otros hongos de pudrición blanca, *P. ostreatus* no produce Lignina peroxidasa por lo que su habilidad para degradar lignina e hidrocarburos aromáticos policíclicos está relacionada con su actividad Lacasa y Manganeso Peroxidasa (Hatakka, 1994, p.130).

#### 1.4.1.2. Cultivo

El cultivo de *P. ostreatus* requiere un rango de temperatura entre 20 a 28°C, siendo la temperatura óptima de 25° C (Gaitán Hernández et al, 2006b: p.24). La colonización total del sustrato ocurre entre los 15 y 20 primeros días de iniciado el cultivo. Generalmente se puede realizar en bolsas, polietileno o polipropileno, así como en envases de vidrio.

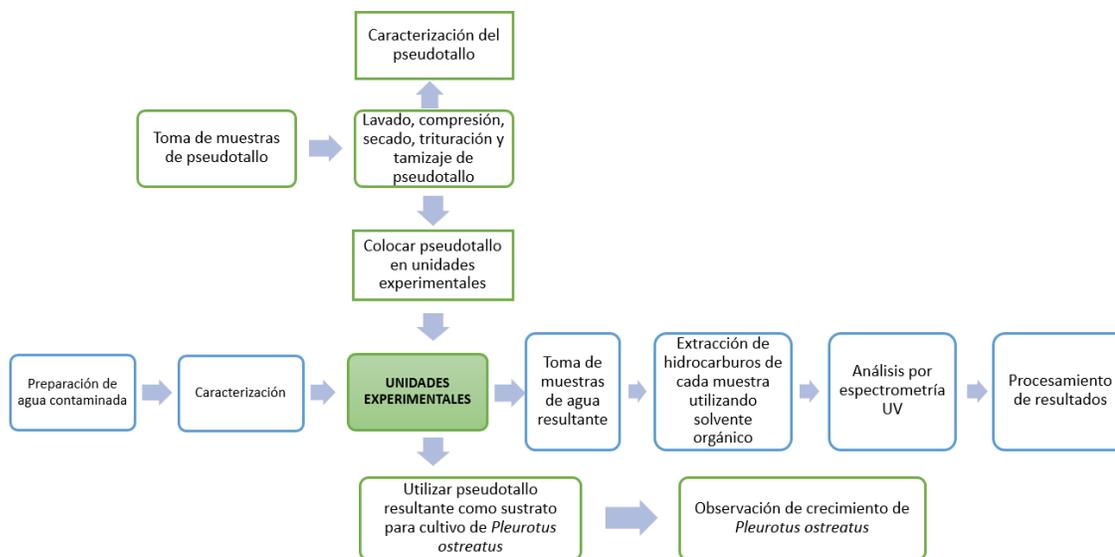
Para el crecimiento de *Pleurotus* se han citado rangos de crecimiento entre 4 y 7 de pH. Con un óptimo entre 5 y 6 (Sánchez Vázquez, et al, 2001, p.290).

El inóculo o spawn es el micelio vegetativo de un hongo seleccionado, crecido en un medio conveniente como trigo, mijo, sorgo etc., con la finalidad de obtener una cosecha de hongos (Sifuentes Vázquez, 2014, p.50). La preparación de un cultivo puro de hongo se realiza partiendo de tejidos o esporas que suelen ser mantenidos en agar, seguido por su cultivo en granos esterilizados de sustratos lignocelulósicos y posterior multiplicación en más grano.

La elección de los granos o semillas para la producción de inóculo dependerá de su disponibilidad, bajo costo y calidad. (Gaitán Hernández et al, 2006, p.19) Adicional al grano se puede utilizar un soporte inerte como aserrín, trozos de madera, entre otros, para facilitar la propagación del micelio.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO



**Figura 2-1: Metodología a aplicar**

Realizado por: Granda, 2018

#### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación aplicada en el presente trabajo es de tipo Exploratoria, descriptiva y Explicativa, ya que se estudiará el determinante de correlación entre las variables concentración de hidrocarburos y pesos de la fracción orgánica resultante.

El diseño de la investigación será de tipo experimental, en cuyas unidades de análisis también llamadas unidades experimentales se aplicará la normativa ASTM F-726 para la determinación de absorción en diferentes tamaños de partícula del pseudotallo de plátano, además de métodos de espectrofotometría para determinar las concentraciones de hidrocarburos

## 2.2. Población de Estudio

Pseudotallos de plátano *Dominico harton*, cosechados en la finca del señor Homero Granda, ubicada en la parroquia Pacayacu, vía Tarapoa km 43, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos.

### 2.2.1. Tamaño de Muestra

Se trabajó con 3 muestras de pseudotallo seco, diferenciadas por tamaños de partícula, siendo de tipo I (P1), tipo II (P2) y tipo III (P3). Cada una fue sometida a tres pruebas principales: prueba dinámica (D), prueba de absorción corta (C) y prueba de absorción larga (L); en cada prueba se realizó 5 repeticiones y un blanco, dando un total de 45 unidades experimentales y 9 blancos.

**Tabla 1-2:** Codificación de unidades experimentales.

	TIPO DE PRUEBA	Repeticón 1	Repeticón 2	Repeticón 3	Repeticón 4	Repeticón 5	Blanco
PARTÍCULA TIPO I	Dinámica	P <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	P <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> DB
	Corta	P <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> C <sub>4</sub>	P <sub>1</sub> C <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> CB
	Larga	P <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> L <sub>4</sub>	P <sub>1</sub> L <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> LB
PARTÍCULA TIPO II	Dinámica	P <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> DB
	Corta	P <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> CB
	Larga	P <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> L <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> L <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> LB
PARTÍCULA TIPO III	Dinámica	P <sub>3</sub> D <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> D <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> D <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> D <sub>4</sub>	P <sub>3</sub> D <sub>5</sub>	P <sub>3</sub> DB
	Corta	P <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> C <sub>4</sub>	P <sub>3</sub> C <sub>5</sub>	P <sub>3</sub> CB
	Larga	P <sub>3</sub> L <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> L <sub>4</sub>	P <sub>3</sub> L <sub>5</sub>	P <sub>3</sub> LB

Realizado por: Maricela Granda, 2019

### 2.2.2. Selección de muestra

Para obtener las muestras de pseudotallo, se seleccionó al azar plantas que no presentaron infección microbiana aparente, que se encontraban en buen estado y en época de cosecha (14 a 16 semanas de cultivo).

## **2.3. Técnicas de Recolección de Datos**

### ***2.3.1. Muestreo de pseudotallo de *Dominico harton*:***

Se realizó el corte de las plantas y se obtuvo muestras de pseudotallo de puntos específicos a lo largo de este para obtener muestras representativas, de 50 cm de longitud y diámetro entre 19 y 22 cm. Las muestras obtenidas se conservaron en fundas a bajas temperaturas (4°C) en un Cooler para ser transportadas hasta el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias, ESPOCH.

### ***2.3.2. Preparación y adecuación de muestras:***

El pseudotallo muestreado fue lavado con agua destilada, y compactado para eliminar el agua en exceso. Posteriormente, por triplicado se sometieron muestras pequeñas de 5 g a tres diferentes temperaturas (60, 70, 80 °C) para determinar la temperatura óptima de secado.

Una vez determinada la temperatura óptima se secó la muestra completa durante 48 horas hasta alcanzar una humedad cercana al 10%. Posteriormente, se apartó 100 g de la muestra, los cuales se destinaron para la obtención de cuadrados de 6cm de ancho por 6cm de largo, correspondientes a la partícula de tipo I; el resto de la muestra se molió y tamizó en las fracciones:

- >2.36 mm
- 1.40 - 2.36 mm
- 850 µm - 1.40 mm
- 425 - 850 µm
- 300 - 425µm
- 150 - 300µm
- < 150µm

De entre las cuales, de acuerdo a las características físicas, homogeneidad y a la cantidad obtenida, se eligió las fracciones adecuadas para las partículas de tipo II y III que se utilizó.

### ***2.3.3. Caracterización del pseudotallo de *Dominico harton*:***

Se analizaron las propiedades de mayor interés para el trabajo planteado, entre éstas se mencionan: humedad, pH, conductividad eléctrica, fibra, lignina, proteína, celulosa, hemicelulosa, cenizas, grasas, porosidad, y flotabilidad.

#### 2.3.3.1. Humedad:

El análisis de humedad de la muestra de pseudotallo se realizó empleando el método gravimétrico 966.02 establecido por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC).

Este método se basa en la determinación gravimétrica de pérdida de masa, de la muestra desecada en estufa de aire hasta obtener peso constante.

#### 2.3.3.2. pH:

Para la determinación del pH se aplicó el método 4500 H<sup>+</sup> (STANDARD METHODS, 2005). Este método se basa en preparar una solución de la muestra en una proporción 1:10 de agua destilada, se agitó por dos horas, se dejó sedimentar y se midió el pH con un equipo multiparámetro.

#### 2.3.3.3. Conductividad eléctrica:

Se aplicó el método 4500 H<sup>+</sup> (STANDARD METHODS, 2005). Este método se basa en preparar una solución de la muestra en una proporción 1:10 de agua destilada, se agitó por dos horas, se centrifugó por 4 minutos a 1000rpm, se filtró en papel filtro normal y se midió la conductividad con un equipo multiparámetro.

#### 2.3.3.4. Proteína, fibra, cenizas y grasa:

Para la determinación de estas propiedades se envió una muestra de 200g de pseudotallo seco y triturado al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), ubicado en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, Riobamba-Ecuador.

Los métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de cada propiedad se describen a continuación:

**Tabla 2-2:** Parámetros del análisis proximal de Weende

<b>Parámetros</b>	<b>Método/Norma</b>
Proteína	Volumétrico
Fibra	Gravimétrico
Cenizas	Gravimétrico
Grasa	Gravimétrico

Fuente: Informe TV-005-18, CESTTA, 2018

Realizado por: Maricela Granda, 2019

### 2.3.3.5. Hemicelulosa, celulosa y lignina

Para la determinación de lignina y celulosa se envió una muestra de 50 g de pseudotallo seco y triturado al Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en la Estación Experimental Santa Catalina, ubicada en el cantón Mejía, Panamericana Sur km 1, sector Cutuglahua, Pichincha-Ecuador.

El laboratorio utilizó el análisis Van Soest para determinar los porcentajes de fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y lignina, que se describen a continuación:

**Tabla 3-2:** Parámetros del análisis Van Soest

Parámetros	Método/Norma	Método de referencia
Lignina	MO-LSAIA-02.03	U. FLORIDA 1970
FDN	MO-LSAIA-02.01	U. FLORIDA 1970
FDA	MO-LSAIA-02.02	U. FLORIDA 1970

Fuente: INIAP, Informe de ensayo 19-006, 2019

Realizado por: Maricela Granda, 2019

### 2.3.3.6. Flotabilidad:

La determinación de la flotabilidad se realizó para cada uno de los tres tipos de partícula, a diferencia de los parámetros anteriores en los que se utilizó una muestra triturada representativa.

Se colocó una masa conocida de material sobre agua destilada durante dos horas, posteriormente se observó si el material permanecía o no sobre la superficie del agua. (Ortiz Gonzáles, et al., 2005; Salazar Hernández, 2012; Martínez Nodal, et al., 2014)

### 2.3.3.7. Densidad y porosidad:

Para la determinación de la porosidad de los tres tipos de partícula, fue necesario primero determinar la densidad aparente y real de cada una.

- Densidad aparente:

Partícula tipo I: fue necesario modificar la metodología que se siguió para los otros tipos de partícula, pues en este caso se trataba de cuadrados de 6cm de ancho, 6cm de largo y espesor de 0,3 a 0,5cm, que flotaban fácilmente. Una vez llena una probeta con agua hasta un volumen determinado ( $V_0$ ), se procedió a pesar el cuadrado de pseudotallo y añadiéndolo dentro de la probeta con agua, anotando inmediatamente el volumen final ( $V_f$ ) y por diferencia se determinó el volumen desplazado por el cuadrado.

Partícula tipo II y III: Para la determinación de la densidad aparente de las partículas se siguió la metodología aplicada por Martínez Nodal et al., (2014, p.58); pesando una probeta seca y vacía, a la que posteriormente se adicionó una masa de la partícula hasta un volumen determinado. Controlando luego el peso de la probeta con su contenido para obtener, por diferencia la masa del sólido.

- Densidad real:

Partícula I: para este caso se siguió el mismo procedimiento que para la densidad aparente, con la diferencia de que el volumen final fue tomado en cuenta al transcurrir cierto tiempo en el que los poros del cuadrado se saturaron de agua.

Partícula II y III: para estos tipos de partículas se optó por seguir la misma metodología que para la densidad aparente, tomando en cuenta el volumen que el material ocupó una vez comprimido en la probeta.

Una vez determinada la densidad aparente y real, se obtuvo la porosidad de cada tipo de partícula, utilizando la Ecuación 5-1 correspondiente a la porosidad.

#### ***2.3.4. Preparación del agua contaminada:***

En la presente investigación se utilizó agua contaminada con diesel comercial, a una concentración conocida y preparada en el laboratorio para poder mantener un control sobre los parámetros específicos de interés en la investigación.

Para tener una referencia entre la concentración utilizada inicialmente y las diversas formas de expresar las concentraciones finales, fue necesario determinar la densidad del diesel a utilizar. Para esto, en un recipiente vacío y seco previamente pesado, utilizando una micropipeta añadir 4 ml de diesel, volver a pesar el recipiente y por diferencia de pesos obtener la masa del diesel. Se realizó el procedimiento con cinco réplicas.

Una vez obtenida la densidad del diesel (0,8352 g/ml) para la preparación de la muestra de agua contaminada, se colocó 4,5 ml de diesel en 250 ml de agua destilada, obteniéndose un patrón inicial de 1,8 % v/v.

### ***2.3.5. Caracterización del agua contaminada:***

La caracterización del agua preparada anteriormente, es importante para obtener los valores iniciales dentro del proceso experimental de los siguientes parámetros:

#### ***2.3.5.1. Temperatura:***

La determinación de la temperatura de cada muestra de agua, requiere un equipo multiparámetro marca BOECO Germany, modelo CT-676.

#### ***2.3.5.2. Conductividad eléctrica:***

Fue determinada por medición directa utilizando el equipo multiparámetro BOECO Germany, modelo CT-676.

#### ***2.3.5.3. pH:***

Este parámetro se midió directamente utilizando un pHmetro marca Fisher Scientific, modelo XL 150.

#### ***2.3.5.4. Turbiedad:***

La determinación de la turbiedad se realizó utilizando un turbidímetro marca HACH, modelo 43900/XR.

#### ***2.3.5.5. Hidrocarburos:***

La metodología planteada por Otalora (2012), está basada en la medición de la absorbancia para determinar la concentración de hidrocarburos en una muestra a la longitud de onda de 450 nm; sin embargo, recomienda modificar la longitud de onda para ensayos en los que el diesel sea el analito, por eso, primero se realizó un barrido en un rango de longitud de onda de 200 a 500 nm a muestras con distintas concentraciones. Posteriormente, una vez determinada la longitud de onda de máxima absorción en el barrido, se realizó la curva de calibración con diluciones del patrón estándar en las siguientes proporciones de ml de diesel/ml de hexano: 0.1/10, 0.3/10, 0.6/10, 1/10, 1.5/10, 2/10, 2.5/10 y 3/10.

Mediante la interpretación de la curva de calibración es posible conocer la ecuación de la recta que describía el comportamiento de la absorbancia respecto a la concentración de hidrocarburos.

Para poder realizar la medición de absorbancia las muestras de agua fueron sometidas a una extracción líquida-líquida, con hexano como solvente para que arrastre consigo todos los hidrocarburos contenidos en el agua. Empleando embudos de separación que contienen 250 ml del agua contaminada, añadir 10 ml de hexano al frasco que contenía inicialmente la muestra, para

realizar un lavado y arrastrar los restos de hidrocarburos que puedan quedar en él, posteriormente dicho hexano fue vertido en el embudo de separación agitándolo por 5 minutos, dejando en reposo el embudo hasta que las dos fases se separaran completamente, extraer y conservar la fase orgánica. (Arango, 2012) Son necesarios tres lavados con 10 ml de hexano a cada muestra y posteriormente eliminar la humedad que puede conservar la fase orgánica, añadiendo 3.5 g de sílica gel de 3-6 mm y mantener en un agitador magnético a 700 rpm por 5 minutos; concluida la agitación la fase orgánica en papel MN 640 md, de diámetro 125 mm, de velocidad de filtración media y sin cenizas, posteriormente se realizó la medición de la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro.

Este procedimiento se realizó con cinco réplicas y un blanco por cada prueba, de cada tipo de partícula, utilizando hexano grado analítico al 97% como blanco para la determinación de la absorbancia, determinada en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific, modelo GENESYS 10S UV-Vis.

La misma metodología se siguió para la caracterización del agua resultante de los distintos ensayos en los que se utilizó el pseudotallo de plátano como bioadsorbente.

### ***2.3.6. Aplicación del pseudotallo como bioadsorbente:***

Para utilizar el pseudotallo del plátano *Dominico harton* como bioadsorbente de hidrocarburos de agua contaminada, se replicó con ligeras modificaciones a la metodología descrita en la normativa ASTM F-726, que tiene como base el protocolo canadiense Oil Sorbent: Testing Protocol and Certification Listing Program, y que imita de mejor manera el uso de adsorbentes en situaciones reales de derrame.

Para la aplicación del método se tomó en cuenta tres tipos de partícula:

- Partícula tipo I: cuadrados de pseudotallo de plátano de 6 cm de ancho por 6 cm de largo.
- Partícula tipo II: pseudotallo triturado con una granulometría homogénea y suelta.
- Partícula tipo III: pseudotallo triturado de menor granulometría, cubierto con malla en una especie de almohadilla, para la cual se utilizó tela de media nylon comercial con 97% de poliamida (nylon) y 3% de elastano (lycra).

Cada tipo de partícula fue sometida a tres pruebas especificadas en la norma ASTM F-726, las cuales son:

- Prueba de degradación dinámica:

- Colocar 250 ml de agua contaminada en un recipiente de 1000 ml.
  - Añadir en el recipiente la cantidad de pseudotallo de plátano a utilizar: Para la partícula I, un cuadrado de pseudotallo de 6x6 cm, anotando su peso inicial. Para las partículas II y III, una masa de partícula similar a la del cuadrado de la partícula I. La muestra fue colocada con la ayuda de una malla metálica.
  - El recipiente permaneció en un agitador magnético durante 15 minutos a 110 rpm, con una temperatura de 23°C.
  - Luego de un reposo de dos minutos, la partícula es retirada del recipiente con agua contaminada, dejando drenar por 30 segundos.
  - Se realizaron 5 réplicas con un blanco en cada tipo de partícula.
  - Las observaciones son reportadas respecto a la condición del agua y del sorbente.
  - El pseudotallo húmedo es pesado y conservado en un recipiente cerrado de vidrio.
- Prueba de adsorción corta.
    - Colocar 250 ml de agua contaminada en un recipiente de 1000 ml.
    - Pesar la muestra inicial de cada tipo de partícula del sorbente.
    - La muestra de sorbente es colocada en el recipiente con agua contaminada, con ayuda de una malla metálica fina.
    - Luego de 15 minutos retirar el sorbente del agua.
    - Drenar por 30 segundos el agua del sorbente y registrar su peso.
    - Se realizaron 5 repeticiones con un blanco en cada tipo de partícula.
    - El pseudotallo húmedo es conservado en un frasco cerrado de vidrio.
  - Prueba de adsorción larga.
    - Colocar 250 ml de agua contaminada en un recipiente de 1000 ml.
    - Pesar la muestra inicial para cada tipo de partícula del sorbente.
    - La muestra de sorbente es colocada en el recipiente con agua contaminada, con ayuda de una malla metálica fina.
    - Luego de 24 horas y retirar el sorbente del agua.
    - Drenar por 30 segundos el agua del sorbente y registrar su peso.
    - Realizar 5 repeticiones con un blanco en cada tipo de partícula.
    - Conservar el pseudotallo húmedo en un frasco cerrado de vidrio.

Con el agua resultante de cada repetición de las pruebas a las que fueron sometidos los tres tipos de partícula, se realizó la caracterización siguiendo la metodología descrita en el apartado anterior para la caracterización de agua contaminada.

### 2.3.7. Utilización del pseudotallo como sustrato para cultivar *Pleurotus sp*:

La cepa utilizada de *Pleurotus ostreatus*, con código PO 0615, fue proporcionada por la Bióloga Alexis Gropper, de la finca integral Amisacho, conocida en la provincia de Sucumbíos por su constante trabajo de aislamiento y producción de hongos nativos del lugar.

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* se desarrolló en las siguientes fases:

- Preparación de inóculos primarios:
  - Se utilizaron granos de cebada con cáscara, los cuales fueron y se sumergieron en agua por 24 horas para que retengan la humedad necesaria (aprox. 80%).
  - Luego de este tiempo se colocó los granos de cebada humedecidos en frascos de vidrio hasta sus dos terceras partes y fueron cubiertos con papel craft; se autoclavan a 121°C y 1 atm de presión durante 15 minutos.
  - Posteriormente, los frascos fueron llevados a una cámara de flujo laminar para realizar la siembra de la semilla en cada uno.
  - Los frascos se mantuvieron en crecimiento a una temperatura de 27°C y con baja luminosidad durante 30 días.
  - Se realizaron revisiones cada 72 horas para descartar frascos que tuvieran algún tipo de contaminación y para controlar parámetros como la humedad, temperatura, y luz.
- Preparación de inóculos secundarios:

En esta fase se utilizaron los inóculos preparados anteriormente para realizar la siembra del hongo tanto en el pseudotallo con hidrocarburos retenidos, como también en pseudotallo sin hidrocarburos.

El pseudotallo empleado en la aplicación como bioadsorbente en cada prueba, se recogió en frascos de vidrio, obteniéndose 9 frascos con residuos de pseudotallo de plátano contaminado, cuyos códigos y pesos se describen a continuación:

**Tabla 4-2:** Códigos de frascos con pseudotallo contaminado para cultivo de *P. ostreatus*.

Tipo de partícula	Tipo de prueba	unidades experimentales aportantes para un frasco	Código de frasco con pseudotallo
<b>I</b>	Dinámica	P <sub>1</sub> D <sub>1</sub> + P <sub>1</sub> D <sub>2</sub> + P <sub>1</sub> D <sub>3</sub> + P <sub>1</sub> D <sub>4</sub> + P <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> D <sub>n</sub>
	Corta	P <sub>1</sub> C <sub>1</sub> + P <sub>1</sub> C <sub>2</sub> + P <sub>1</sub> C <sub>3</sub> + P <sub>1</sub> C <sub>4</sub> + P <sub>1</sub> C <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> C <sub>n</sub>
	Larga	P <sub>1</sub> L <sub>1</sub> + P <sub>1</sub> L <sub>2</sub> + P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> + P <sub>1</sub> L <sub>4</sub> + P <sub>1</sub> L <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> L <sub>n</sub>
<b>II</b>	Dinámica	P <sub>2</sub> D <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> D <sub>2</sub> + P <sub>2</sub> D <sub>3</sub> + P <sub>2</sub> D <sub>4</sub> + P <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> D <sub>n</sub>
	Corta	P <sub>2</sub> C <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> C <sub>2</sub> + P <sub>2</sub> C <sub>3</sub> + P <sub>2</sub> C <sub>4</sub> + P <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> C <sub>n</sub>

	Larga	$P_2L_1 + P_2L_2 + P_2L_3 + P_2L_4 + P_2L_5$	$P_2L_n$
<b>III</b>	Dinámica	$P_3D_1 + P_3D_2 + P_3D_3 + P_3D_4 + P_3D_5$	$P_3D_n$
	Corta	$P_3C_1 + P_3C_2 + P_3C_3 + P_3C_4 + P_3C_5$	$P_3C_n$
	Larga	$P_3L_1 + P_3L_2 + P_3L_3 + P_3L_4 + P_3L_5$	$P_3L_n$
Total de frascos			<b>9</b>

Realizado por: Maricela Granda, 2019.

**Tabla 5-1:** Pesos de frascos con pseudotallo contaminado para cultivo de *P.ostreatus*.

Unidades experimentales aportantes	Peso seco de pseudotallo recogido (g)	Código de frasco	Peso seco el en frasco (g)
$P_1D_1 + P_1D_2 + P_1D_3 + P_1D_4 + P_1D_5$	3,1069+3,2032+3,2896+3,3500+3,2497	$P_1D_n$	16,1994
$P_1C_1 + P_1C_2 + P_1C_3 + P_1C_4 + P_1C_5$	3,2460+3,8175+3,3208+3,1068+3,1403	$P_1C_n$	16,6494
$P_1L_1 + P_1L_2 + P_1L_3 + P_1L_4 + P_1L_5$	3,3478+3,3689+3,3953+3,7381+3,2914	$P_1L_n$	17,1415
$P_2D_1 + P_2D_2 + P_2D_3 + P_2D_4 + P_2D_5$	3,4201+3,4208+3,4210+3,4199+3,4207	$P_2D_n$	17,1025
$P_2C_1 + P_2C_2 + P_2C_3 + P_2C_4 + P_2C_5$	3,4212+3,4211+3,4220+3,4209+3,4211	$P_2C_n$	17,1063
$P_2L_1 + P_2L_2 + P_2L_3 + P_2L_4 + P_2L_5$	3,4202+3,4210+3,4198+3,4209+3,4209	$P_2L_n$	17,1028
$P_3D_1 + P_3D_2 + P_3D_3 + P_3D_4 + P_3D_5$	3,4204+3,4201+3,4206+3,4208+3,4205	$P_3D_n$	17,1024
$P_3C_1 + P_3C_2 + P_3C_3 + P_3C_4 + P_3C_5$	3,4214+3,4203+3,4206+3,4209+3,4204	$P_3C_n$	17,1036
$P_3L_1 + P_3L_2 + P_3L_3 + P_3L_4 + P_3L_5$	3,4207+3,4208+3,4205+3,4207+3,4203	$P_3L_n$	17,1030

Realizado por: Maricela Granda, 2019.

Los 9 frascos con residuo de pseudotallo contaminado fueron utilizados para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*; estos fueron llevados a la cámara de flujo laminar y se colocó una cantidad de inóculo primario en cada frasco, en una relación de pesos inóculo-pseudotallo de 1-3, siendo: 5.7 g de inóculo en 17.10 g de pseudotallo contaminado.

Para el cultivo del hongo en pseudotallo no contaminado se prepararon 2 frascos por cada tipo de partícula. El pseudotallo fue sumergido en agua para garantizar la humedad necesaria para el cultivo y fue colocada en los frascos una cantidad de pseudotallo sin contaminantes, similar a la utilizada en los frascos contaminados, procediéndose a autoclavarlos a una temperatura de 121°C y 1 atm de presión durante 15 minutos. Posteriormente, dentro de la cámara de flujo laminar, se colocó en cada frasco la misma proporción inóculo-pseudotallo que fue colocada en los frascos con pseudotallo contaminado.

Estos 6 frascos sirvieron como blancos y sus códigos y pesos se describen en la tabla a continuación:

**Tabla 6-2:** Descripción de frascos con pseudotallo como blanco.

<b>Código de frasco</b>	<b>Peso (g) seco en el frasco</b>
<b>P<sub>1</sub>B<sub>1</sub></b>	17,1627
<b>P<sub>1</sub>B<sub>2</sub></b>	17,1647
<b>P<sub>2</sub>B<sub>1</sub></b>	17,1234
<b>P<sub>2</sub>B<sub>2</sub></b>	17,1168
<b>P<sub>3</sub>B<sub>1</sub></b>	17,1234
<b>P<sub>3</sub>B<sub>2</sub></b>	17,1329

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Utilizando la técnica de fermentación en estado sólido (FES), tanto los frascos con tallo contaminado como los frascos con tallo sin contaminación, se mantuvieron en crecimiento a una temperatura de 29°C, baja luminosidad, pH entre 5.5 y 6.5, por un tiempo de 15 días, realizándose controles cada 3 días y reportándose las observaciones más importantes del crecimiento del hongo en cada frasco.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Preparación y adecuación de muestras.

##### 3.1.1. Secado de pseudotallo recolectado

La determinación de la temperatura de secado se realizó por triplicado a tres temperaturas diferentes: 60, 70 y 80°C; hasta obtener un peso constante de las muestras, los cuales se reportan a continuación:

**Tabla 1-3:** Pesos de pseudotallo secados a 60°C

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Pseudotallo C1 (g)</b>	<b>Pseudotallo C2 (g)</b>	<b>Pseudotallo C3 (g)</b>	<b>Promedio</b>	<b>% peso</b>
<b>0</b>	5,009	4,940	5,019	4,989	100,000
<b>1</b>	2,351	2,380	2,133	2,288	45,861
<b>2</b>	1,245	1,297	1,098	1,213	24,316
<b>3</b>	0,464	0,416	0,381	0,420	8,420
<b>4</b>	0,328	0,340	0,341	0,336	6,731
<b>5</b>	0,324	0,321	0,325	0,323	6,476
<b>6</b>	0,320	0,318	0,321	0,320	6,404
<b>7</b>	0,319	0,318	0,321	0,319	6,400

Realizado por: Maricela Granda, 2019

**Tabla 2-3:** Pesos de pseudotallo secados a 70°C

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Pseudotallo C1 (g)</b>	<b>Pseudotallo C2 (g)</b>	<b>Pseudotallo C3 (g)</b>	<b>Promedio</b>	<b>% peso</b>
<b>0</b>	5,093	5,026	5,000	5,040	100,000
<b>1</b>	1,788	1,592	1,680	1,687	33,468
<b>2</b>	0,733	0,592	0,456	0,594	11,784
<b>3</b>	0,370	0,353	0,333	0,352	6,989
<b>4</b>	0,354	0,338	0,318	0,337	6,678
<b>5</b>	0,353	0,334	0,317	0,335	6,638
<b>6</b>	0,353	0,334	0,317	0,335	6,639

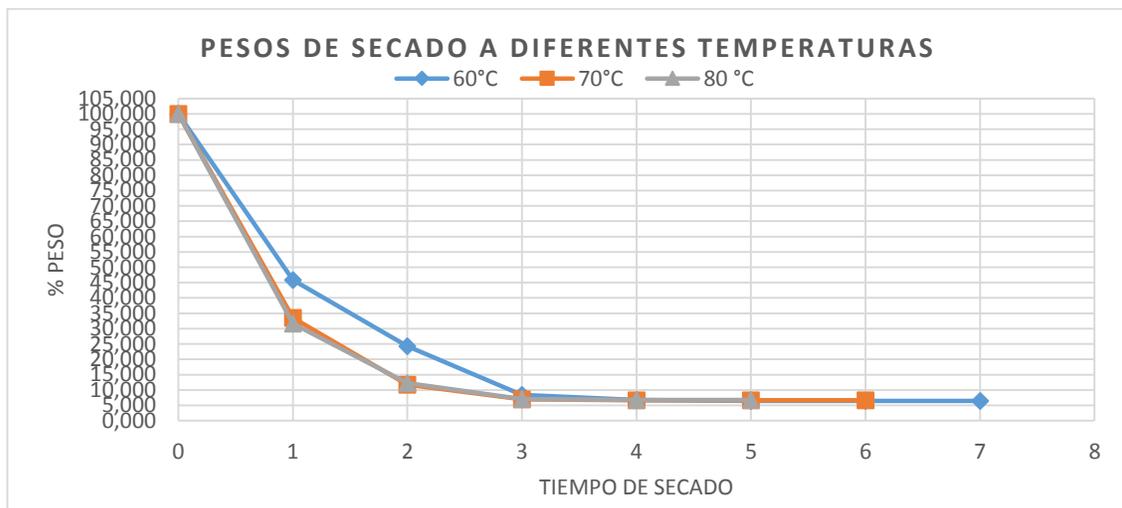
Realizado por: Maricela Granda, 2019

**Tabla 3-3:** Pesos de pseudotallo secados a 80°C

Tiempo (h)	Pseudotallo C1 (g)	Pseudotallo C2 (g)	Pseudotallo C3 (g)	Promedio	% peso
0	5,009	5,001	5,005	5,005	100,000
1	1,574	1,596	1,585	1,585	31,672
2	0,583	0,651	0,606	0,613	12,254
3	0,365	0,346	0,357	0,356	7,118
4	0,348	0,329	0,337	0,338	6,750
5	0,347	0,329	0,337	0,338	6,749

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Los pesos detallados en las tablas anteriores demuestran el comportamiento del secado de las muestras de pseudotallo respecto al tiempo en cada una de las tres temperaturas. Para determinar la temperatura de secado óptima se analizó el siguiente gráfico que contrasta los resultados de la variación de pesos en cada temperatura, tomando en cuenta la rapidez secado en las 3 primeras horas



**Gráfico 1-3:** Pesos de muestras de pseudotallo secadas a diferentes temperaturas

Realizado por: Maricela Granda, 2019

En el gráfico anterior se puede observar que las curvas correspondientes a 70 y 80°C presentan una rapidez similar en la variación de los pesos, por lo cual se decidió optar por la temperatura de 70°C para secar la muestra total, evitando someterla a temperaturas superiores que podrían alterar sus propiedades. La tabla 4-3 muestra las condiciones de peso inicial y final para el secado de la muestra:

**Tabla 4-3:** Condiciones de la muestra de pseudotallo seca a 70°C

<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Humedad operativa %*</b>
17901,18	1997	8,58% **

Realizado por: Maricela Granda

\*en base a muestra seca (BMS)

\*\*Fuente: INIAP, Informe de ensayo 19-006, 2019

**3.1.2. Molido y tamizado de muestra seca**

De la muestra seca se apartó 100 g para obtener las partículas de tipo I, triturándose el resto de la muestra y obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 5-3:** Peso de pseudotallo durante la adecuación.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
<b>Peso inicial</b>	g	1709,18
<b>Peso seco</b>	g	1997
<b>Peso partícula I</b>	g	100
<b>Peso pre triturado</b>	g	1897
<b>Peso final post triturado</b>	g	1787
<b>Pérdida</b>	%	5,799

Realizado por: Maricela Granda, 2019

El pseudotallo triturado fue tamizado en 7 distintas fracciones, calculándose el porcentaje al que corresponde cada fracción respecto a los 1787 g del total de pseudotallo resultante del triturado.

**Tabla 6-3:** Fracciones de tamizaje y sus porcentajes

<b>No. de fracción</b>	<b>tamaño de partícula</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	2,36 – 5 mm	121,1586	6,78
<b>2</b>	1,40 - 2,36 mm	298,0716	16,68
<b>3</b>	850 µm - 1,40mm	323,2683	18,09
<b>4</b>	425 µm - 850µm	462,2969	25,87
<b>5</b>	300µm - 425µm	159,043	8,9
<b>6</b>	150µm - 300µm	184,4184	10,32
<b>7</b>	< 150µm	238,7432	13,36
	<b>Total</b>	<b>1787</b>	<b>100</b>

Realizado por: Maricela Granda, 2019

De la Tabla 6-3 puede identificarse la fracción número 4 como la más abundante, seguida de la fracción número 3, lo cual supondría que éstas corresponderían al tipo de partícula III y II respectivamente, sin embargo, era necesario que el tamaño de partícula tenga una diferencia mayor entre sí, por lo que se tomó la fracción número 1 como tamaño de partícula II y la fracción número 3 como tamaño de partícula III; siendo de esta manera:

**Tabla 7-3:** Tamaño de partículas utilizadas

<b>Tipo de partícula</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Descripción</b>
<b>I</b>	6 cm x 6 cm	Cuadrados
<b>II</b>	2,36 - 5 mm	Partículas homogéneas con presencia de hilos
<b>III</b>	850 $\mu$ m - 1,40 mm	Partículas homogéneas, sin presencia de hilos

Realizado por: Maricela Granda, 2019

### 3.2. Caracterización físico química del pseudotallo del plátano *Dominico harton*.

Los resultados de la caracterización se explican a continuación por orden de parámetros medidos.

#### 3.2.1. *Humedad*

**Tabla 8-3:** Humedad real del tallo de plátano.

<b>Réplica</b>	<b>Humedad real (%)</b>
<b>1</b>	94,361
<b>2</b>	94,367
<b>3</b>	94,364
<b>promedio</b>	94,364

Realizado por: Maricela Granda, 2019

El porcentaje de humedad real de la muestra corresponde al total de humedad que tiene el pseudotallo sin secarlo. De acuerdo a la Tabla 8-3, el valor promedio encontrado fue de 94,36%, siendo muy cercano al valor reportado por Vargas Soto, et al., (2013, p.51), quien encontró un valor de 96,71% de humedad en el jugo de pseudotallo de plátano *Dominico harton*, de plantas cultivadas en Quindío, Colombia. Según Molina Morales (2016, p.15), la variación de la humedad puede deberse a las condiciones ambientales y la disponibilidad de agua en el suelo.

Al realizar el secado fue necesario mantener un porcentaje de humedad cercano al 10% para mantener ciertas características de la muestra, por ello, luego del secado de la muestra, el análisis de humedad reportó un 8,58% en la muestra (Ver anexo 3), siendo esta la humedad operativa del pseudotallo para el desarrollo del presente trabajo. El valor encontrado es muy cercano al 7,57% de

humedad con el que trabajó Martínez Nodal, et al., (2014, p.60) en la caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos.

### 3.2.2. pH y Conductividad eléctrica:

**Tabla 9-3:** pH y conductividad eléctrica del pseudotallo

<b>Réplica</b>	<b>pH</b>	<b>C. Eléctrica (mS)*</b>
<b>1</b>	6,83	19,84
<b>2</b>	6,84	20,25
<b>3</b>	6,84	19,93
<b>4</b>	6,91	21,62
<b>5</b>	6,86	20,61
<b>Promedio</b>	6,86	20,28
<b>Blanco</b>	5,72	9,2**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

\*En base a muestra seca (BMS)

\* $\mu$ S

En la Tabla 9-3 se muestran los resultados obtenidos para la medición de pH y Conductividad eléctrica. El valor promedio de pH del pseudotallo es de 6,86; encontrándose cercano a un valor de pH neutro, similar al valor reportado en la caracterización fisicoquímica del jugo de pseudotallo de *Dominico harton*, realizado por Vargas Soto, et al., (2013, p.50).

El valor promedio de 20,28 mS para la conductividad eléctrica, hace referencia a sales disueltas en la solución de pseudotallo seco (1 g) en agua destilada (10 ml), siendo un valor de conductividad muy alto, que puede deberse a los componentes químicos presentes en el pseudotallo.

### 3.2.3. Proteína, fibra, ceniza, grasas

**Tabla 10-3:** Resultados del análisis proximal Weende del pseudotallo.

<b>Parámetro</b>	<b>unidad</b>	<b>Resultado*</b>
<b>Proteína</b>	%	2,58
<b>Fibra</b>	%	29,62
<b>Ceniza</b>	%	26,41
<b>Grasa</b>	%	1,22

Fuente: Informe TV-005-18, CESTTA, 2018

Realizado por: Maricela Granda 2019

\*En base a muestra seca (BMS)

El análisis proximal de Weende permite conocer el contenido de proteína cruda (nitrógeno total), ceniza, grasa, humedad, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda.

El 2,58% de proteína encontrado en el pseudotallo de *Dominico harton* es menor comparado con el 12,8% de la harina de raquis reportado por Mazzeo Meneses et al, (2010a: p.135); sin embargo, es mayor si se compara con el 2,03% de proteína de la fruta de *Musa paradisiaca*, variedad *Dominico*, reportado por Carranza & Sánchez, (2002).

Para el reporte de porcentaje de fibra cruda, el 29,62% encontrado en el pseudotallo es mayor que el 23,0% de la harina de raquis, encontrado por Mazzeo Meneses et al, (2010b: p.135). Este porcentaje alto de fibra cruda representa de manera general el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina de la muestra de pseudotallo, sin embargo, para conocer los porcentajes específicos fue necesario aplicar el método de Van Soest a la muestra, cuyos resultados se detallan en el apartado 3.2.4.

Al analizar cenizas se encontró un 26,41% en el pseudotallo, siendo un valor mayor al 22,947% del raquis de *Musa paradisiaca* (Cuadrado, 2017, p.12); la presencia de cenizas se relaciona con la presencia de cationes minerales, de los cuales según Vargas Soto et al, (2013, p.51) el potasio es el más abundante en el pseudotallo del plátano *Dominico harton*.

En cuanto a grasas, Mazzeo Meneses et al, (2010c: p.135) reportó un valor de 0,1% en la harina del raquis de *Dominico harton*, sin embargo el valor de grasas encontrado en el pseudotallo fue de 1,22%, evidenciando una mayor cantidad que se justifica por la presencia de ceras, las cuales le brindan la característica de hidrofobicidad al pseudotallo, siendo esta muy importante para mantener otras propiedades como la flotabilidad y la bioadsorción de hidrocarburos debido a su carácter orgánico.

#### 3.2.4. Hemicelulosa, celulosa y lignina

Los resultados del análisis Van Soest, en base seca se muestran a continuación:

**Tabla 11-3:** Resultados del análisis Van Soest del pseudotallo.

Análisis	Unidad	Resultado*
<b>FDN</b>	%	54,80
<b>FDA</b>	%	46,52
<b>Lignina</b>	%	10,72

Fuente: INIAP, Informe de ensayo 19-006, 2019

\*En base a muestra seca (BMS)

Realizado por: Maricela Granda, 2019

La Fibra Detergente Neutra (FDN) comprende a la Fibra Detergente Ácida (FDA) y a la hemicelulosa; la FDA comprende a la celulosa y a la lignina. Por lo explicado, los porcentajes de hemicelulosa (8,28%), celulosa (35,8%) y lignina (10,72%), presentes en el pseudotallo de *Dominico harton* son inferiores a los de bagazo de caña de azúcar reportados por Cataño Rueda, (2009, p.22). Sin embargo, el porcentaje de lignina encontrado en el pseudotallo es cercano al 11,70% del raquis de *Musa paradisiaca* reportado por Cuadrado (2017, p:12).

La hemicelulosa es un heteropolisacárido que forma una cadena lineal ramificada. No forma fibrillas ya que reviste y ata a las fibras de celulosa formando una red. Es altamente hidrofílica ya que es la encargada de mantener la hidratación de la pared celular.

La celulosa es un homopolisacárido de glucosa, forma fibras rígidas y es insoluble en agua, lo que la hace de gran importancia en el presente trabajo ya que el carácter hidrofóbico es necesario para que se dé una mayor adsorción de hidrocarburos y una menor adsorción de agua, lo que se espera debido al mayor contenido de celulosa respecto a la hemicelulosa.

La lignina es un polímero estructural, insoluble en agua, encargado de la rigidez de las paredes celulares. En este trabajo, su presencia es muy importante para la degradación de los hidrocarburos retenidos en el pseudotallo de plátano, mediante la acción de *Pleurotus ostreatus*.

### 3.2.5. Flotabilidad

La prueba de flotabilidad se realizó por triplicado para cada tipo de partícula seca, cuyos resultados y observaciones se detallan a continuación:

**Tabla 12-3:** Flotabilidad de los tres tipos de partículas de pseudotallo.

<b>Partícula</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Observaciones</b>
<b>I</b>	+	+	+	100% de Flotabilidad
<b>II</b>	+	+	+	98% de Flotabilidad, partículas en el agua
<b>III</b>	-	-	-	La mayoría de la muestra precipitó inmediatamente, partículas en el agua

Realizado por: Maricela Granda, 2019

De los tres tipos de partícula evaluados, las partículas de tipo I y II tienden a flotar y permanecer en la superficie, mientras que la partícula de tipo III tiende a precipitar inmediatamente. De acuerdo a

la Norma ASTM F-726, si se observa que más del 10% de la partícula se hunde o se desprenden partículas del sorbente en el agua, no se recomienda el uso en aguas abiertas, por ello, las partículas de tipo II y III no son recomendables para aguas abiertas.

### 3.2.6. Densidad y porosidad

Para la determinación de la porosidad en cada tipo de partícula, en base seca, primero se determinó la densidad aparente y real, por triplicado, cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 13-3:** Densidades de las partículas de pseudotallo.

	Unidad	Partícula 1		Partícula 2		Partícula 3	
		D. Aparente	D. Real	D. Aparente	D. Real	D. Aparente	D. Real
Réplica	1 g/cm <sup>3</sup>	0,2207	0,3311	0,0411	0,1579	0,1154	0,2001
	2 g/cm <sup>3</sup>	0,2212	0,3305	0,0409	0,1571	0,1151	0,2006
	3 g/cm <sup>3</sup>	0,2210	0,3309	0,0415	0,1575	0,1158	0,2009
<b>Promedio</b>	g/cm <sup>3</sup>	0,2210	0,3308	0,0412	0,1575	0,1154	0,2005

Realizado por: Maricela Granda, 2019

En la Tabla 13-3 se muestran los resultados de porosidad obtenida a partir de las densidades en cada tipo de partícula:

**Tabla 14-3:** Porosidad de las partículas de pseudotallo.

Partícula	Porosidad (%)
<b>I</b>	0,3321
<b>II</b>	0,7386
<b>III</b>	0,4244

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Los porcentajes de porosidad encontrados son menores a los del bagazo de caña de azúcar reportado por Rincones Poyer et al., (2015, p.443). Sin embargo, al comparar con la porosidad del raquis de *Musa paradisiaca* analizado por Cuadrado (2017, p.13), la partícula de tipo I de pseudotallo tiene una porosidad cercana a la del raquis, mientras que las partículas de tipo II y III tienen una porosidad mayor.

Según Cuadrado, los análisis de las características físicas, químicas e hidráulicas de la fibra, tales como lignina, cenizas, densidad y porosidad son importantes porque éstas pueden estar relacionadas con el efecto de la adsorción del contaminante del agua y con el tiempo de retención ya que a menor porosidad mayor es el tiempo en el que el contaminante se adhiere a las fibras (Cuadrado, 2017, p.22)

Según Manrique & Rivera, a pesar de pertenecer a una misma familia, pueden existir diferencias en la composición química de la fibra proveniente del pseudotallo de diferentes especies, específicamente en los contenidos de lignina, holocelulosa y celulosa, pero pueden presentarse valores similares en cuanto a porcentajes de humedad, ceniza, materia orgánica y hemicelulosa. Siendo muy probable que las diferencias mencionadas sean las responsables de las variaciones en las propiedades físicas. (Manrique Carvajal et al, 2012)

En el estudio del jugo de pseudotallo de *Dominico harton*, Vargas et al, determinaron que los sólidos presentes son mayoritariamente orgánicos, haciendo parte de estos el almidón con un 7,311%, los azúcares reductores y otros polisacáridos. (Vargas et al, 2013, p.51).

### 3.3. Caracterización de aguas contaminadas con hidrocarburos.

#### 3.3.1. Temperatura, pH, Conductividad eléctrica y Turbiedad

Para la medición de Temperatura, pH, conductividad eléctrica y turbiedad del agua contaminada con diesel, se trabajó con 5 réplicas y 1 blanco, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 15-3:** Parámetros físicos del agua contaminada.

<b>Réplica</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (µS)</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>
<b>MI1</b>	23	6,41	12,1	0,143
<b>MI2</b>	23	6,21	12,3	0,145
<b>MI3</b>	23	6,4	12,4	0,14
<b>MI4</b>	23	6,23	12,2	0,145
<b>MI5</b>	23	6,25	12,3	0,142
<b>Promedio</b>	<b>23</b>	<b>6,3</b>	<b>12,26</b>	<b>0,143</b>
<b>MIB</b>	23	5,17	10,5	0,139

Fuente: Maricela Granda, 2019

### 3.3.2. Hidrocarburos

Para la determinación de las concentraciones de hidrocarburos se obtuvo la ecuación lineal resultante de la curva de calibración del gráfico 2-3. Para la cual, cuando se conoce el valor de absorbancia, se puede despejar la variable  $x$  para encontrar los valores de las concentraciones desconocidas de hidrocarburos.

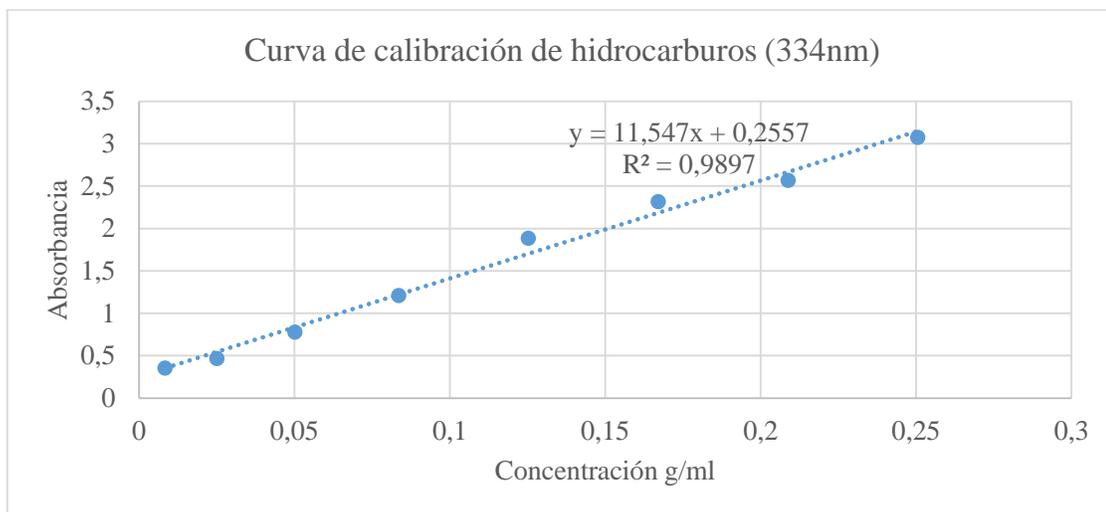
**Ecuación 1-3:** Ecuación de la concentración de hidrocarburos.

$$x = \frac{y - 0,2557}{11,547}$$

Donde:

$y$ : absorbancia

$x$ : concentración



**Gráfico 2-3: Curva de calibración a 334nm**

Realizado por: Maricela Granda

La curva de calibración se midió a una longitud de onda de 334 nm, siendo ésta la de mayor absorción determinada por el barrido espectral que se realizó a muestras con diluciones de diesel (ver anexo 1).

En la tabla 16-3 se muestra los valores de la concentración de hidrocarburos obtenidos, utilizando la ecuación de la curva de calibración y encontrándose como valor promedio 0,2164 g/ml de hidrocarburos presentes en el agua contaminada que se utilizó. Esta concentración corresponde a la inicial, respecto a la cual se determinaron las disminuciones de concentración en las distintas pruebas realizadas más adelante.

**Tabla 16-3:** Concentración de hidrocarburos en agua contaminada

Muestra	absorbancia	Concentración (g/ml)
MI1	2,9500	0,2333
MI2	2,9670	0,2348
MI3	2,9180	0,2306
MI4	2,9240	0,2311
MI5	2,9450	0,2329
MIB	0,0010	-0,0221*
<b>Promedio</b>		0,2325
<b>Desviación estándar</b>		0,0017
<b>Error</b>		0,0008

Realizado por: Maricela Granda, 2019

\* Valor fuera del límite de cuantificación

La concentración promedio de hidrocarburos en el agua contaminada es 0.2325 g/ml, siendo un valor de concentración medio entre las concentraciones de la fracción diesel utilizadas por Rincones Poyer et al (2015, p.443) en la determinación de la adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar.

### 3.4. Capacidad de adsorción del pseudotallo de *Dominico harton* para retener hidrocarburos.

En la tabla siguiente se muestran los promedios de porcentajes de remoción de hidrocarburos para las partículas de tipo I, II y III, luego de haber utilizado el pseudotallo de *Dominico harton* como bioadsorbente en el agua contaminada con hidrocarburos. Los valores detallados de absorbancia, concentración de hidrocarburos y porcentajes de remoción de cada prueba se pueden encontrar en el Anexo 2.

#### 3.4.1. Resultados de remoción de hidrocarburos

**Tabla 17-3:** Concentración residual de hidrocarburos en el agua.

	Prueba	Concentración promedio (g/ml)	Desv. Estándar	Error estándar
<b>Partícula I</b>	Corta	0,0838	0,0730	0,0298
	dinámica	0,0214	0,0039	0,0017
	Larga	0,0059	0,0001	0,0001

<b>Partícula II</b>	Corta	0,0316	0,0002	0,0001
	dinámica	0,0273	0,0016	0,0007
	larga	0,0208	0,0003	0,0002
<b>Partícula III</b>	corta	0,0714	0,0005	0,0002
	dinámica	0,0541	0,0007	0,0003
	larga	0,0373	0,0008	0,0004

Fuente: Maricela Granda,2019

Se realizó el análisis estadístico para determinar diferencias o semejanzas en los resultados obtenidos en las pruebas corta, dinámica y larga para cada tipo de partícula. Esto se analizó mediante ANOVAS para cada tipo de prueba.

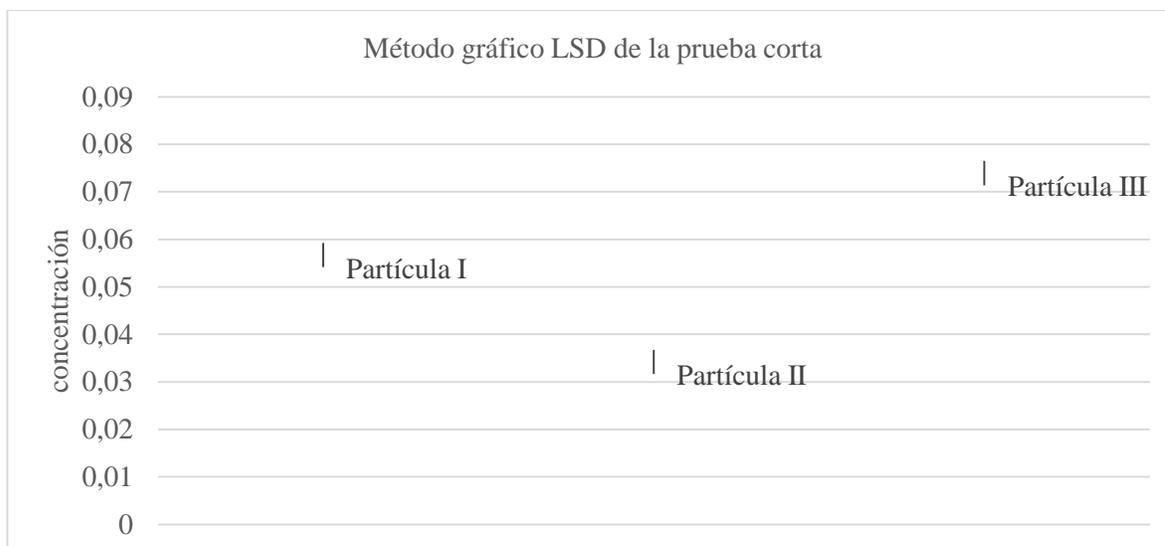
A continuación, se presenta el resumen del análisis de varianza de los promedios de concentraciones de hidrocarburos de la prueba de adsorción corta, para los 3 tipos de partícula:

**Tabla 18-3:** Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba corta.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	0,0040	2	0,0020	144,7320	3,97808E-09	3,8853
<b>Dentro de los grupos</b>	0,0002	12	1,37375E-05			
<b>Total</b>	0,0041	14				

Realizado por: Maricela Granda.

De la tabla de Anova de un solo factor para las concentraciones de prueba corta se concluye que al menos una partícula adsorbe de manera diferente a las demás. Por lo que se procede a aplicar la prueba estadística LSD para determinar las diferencias de adsorción entre las partículas.



**Gráfico 3-3: LSD para la prueba corta**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Mediante el análisis LSD se pudo determinar que existen diferencias significativas entre las medias de los tres tipos de partícula, siendo la partícula de tipo II la que mayor bioadsorción de hidrocarburos presentó en la prueba corta con un promedio de remoción del 86,3987% de su concentración inicial, seguida por la partícula de tipo I.

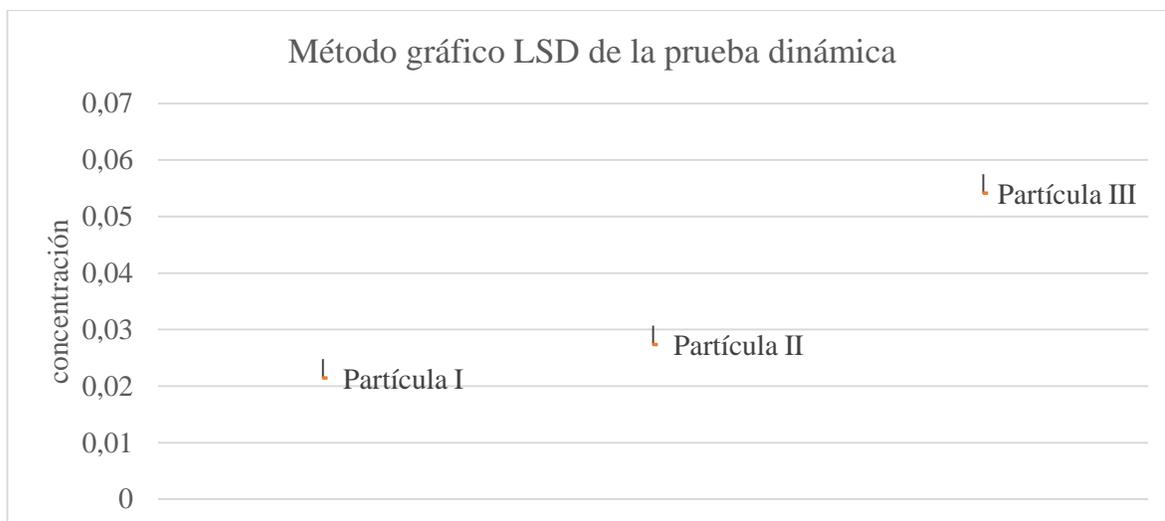
Para la prueba de adsorción dinámica se presentan los resultados del Anova en la siguiente tabla:

**Tabla 19-3:** Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba dinámica.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,003032	2	0,001516	251,430621	1,60305E-10	3,885294
Dentro de los grupos	7,23631E-05	12	6,03026E-06			
<b>Total</b>	0,003105	14				

Realizado por: Maricela Granda.

Del Anova de un solo factor para las concentraciones de prueba dinámica, se determina que al menos una partícula adsorbe de manera diferente; procediéndose a aplicar la prueba estadística LSD para determinar las diferencias de adsorción entre las partículas.



**Gráfico 4-3: LSD para la prueba dinámica**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Para la prueba dinámica, en el gráfico de intervalos LSD los rangos para la partícula I y II se superponen, por lo que no hay diferencias significativas en la bioadsorción de ambos tipos de partícula, pudiendo alcanzar una concentración promedio más baja de 0,02143 g/ml, lo que significa una remoción del 90,791% de la concentración inicial de hidrocarburos.

Para la prueba de bioadsorción larga los resultados del análisis de varianza se muestran a continuación:

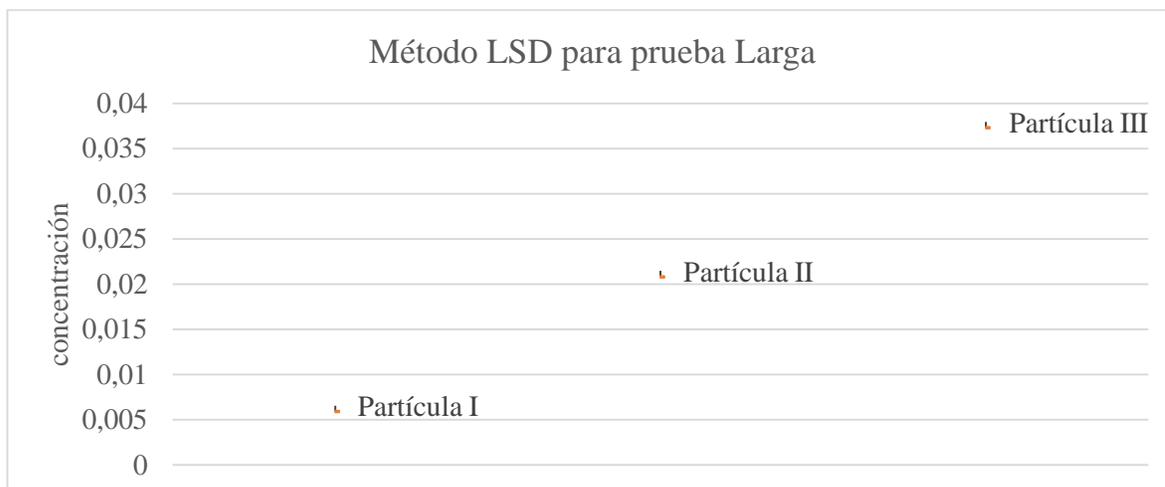
**Tabla 20-3:** Anova para concentraciones de hidrocarburos en prueba larga.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,002466009	2	0,001233004	4956,796482	3,12283E-18	3,885293835
Dentro de los grupos	2,985E-06	12	2,4875E-07			
<b>Total</b>	<b>0,002468994</b>	<b>14</b>				

Realizado por: Maricela Granda.

En el Anova de un solo factor para las concentraciones de prueba larga, al analizar los resultados, se acepta la hipótesis alternativa que plantea que al menos una partícula adsorbe de manera diferente.

Por lo que se aplica la prueba estadística LSD para determinar las diferencias significativas de adsorción entre las partículas.



**Gráfico 5-3: LSD para prueba larga**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Del análisis del gráfico de intervalos LSD para la prueba larga, se determinó que existe diferencias entre los resultados de cada tipo de partícula, encontrándose que la partícula de tipo I es la que mayor eficiencia de remoción tuvo, con un valor de concentración promedio de 0,0059 g/ml, lo que equivale a un 97,4742% de remoción de la concentración inicial.

Como se puede observar en la tabla los promedios de remoción para los tres tipos de partícula son superiores al 50% que se esperaba. Para las tres partículas el grado de remoción más alto se da en la prueba larga, esto se explica porque tiene mayor tiempo de contacto con el agua contaminada. En el caso de la prueba corta y dinámica, si bien en ambas el tiempo de contacto con el agua contaminada es el mismo, es posible que el porcentaje mayor de la prueba dinámica se deba al movimiento al que fue sometido y que permitía que mayor cantidad de contaminante se mantenga en contacto con el material adsorbente.

Si analizamos entre partículas, con la que se obtuvo porcentajes más altos de remoción fue la partícula tipo I, según Ortiz Gonzáles, esto debe a que los haces conductores de la fibra son más largos debido al tamaño de partícula, siendo más útiles para el flujo del hidrocarburo por capilaridad y para retenerlo por adhesión. (Ortiz Gonzáles et al, 2005, p.4) Adicionalmente, por su tamaño, la partícula I mantiene la estructura de los tejidos entre haces conductores, los cuales forman espacios llenos de aire que le permiten acumular fluido en su interior. Dicho tejido es frágil, por lo cual está

presente en menor cantidad en las partículas II y III, debido al proceso de triturado al que fueron sometidas.

Es importante tomar en cuenta los resultados obtenidos de la prueba de flotabilidad, debido a que, en esta las partículas II y III resultaron no recomendadas debido a las partículas de pseudotallo disueltas y a la precipitación de la partícula. Es por esto que destaca la partícula de tipo I, por las características explicadas anteriormente y por los porcentajes de remoción de hasta 97.47%, llegando a ser más alto que los reportados por Rincones Poyer et al (2015, p.445) y Martinez Nodal et al (2014, p.61) para el bagazo de caña de azúcar como biosorbente para hidrocarburos.

Es necesario mencionar que se pudo observar un cambio en las características visibles del agua contaminada, sobre todo el cambio en la superficie que, mientras no se aplicaba el material bioadsorbente, ésta presentaba una capa aceitosa, brillante, con color característico del diesel, pero al aplicar el material bioadsorbente, se podía notar una reducción muy significativa de dicha capa y del brillo.

### 3.4.2. Rendimiento de sorción del pseudotallo

De acuerdo a la norma ASTM F-726 la prueba de degradación dinámica permite determinar la flotabilidad y propiedades hidrofóbicas del material en condiciones dinámicas. La prueba de adsorción corta y larga permiten determinar la proporción de un sorbente cuando se coloca en un líquido de prueba en condiciones estancadas durante 15 minutos y 24 horas respectivamente.

Esta metodología permitió probar el rendimiento de sorbentes midiendo la cantidad de líquido de prueba, dada la cantidad de material sorbente recogido, para la eliminación de aceites crudos, aceites no emulsificados y otros líquidos flotantes e inmiscibles de la superficie del agua. (ASTM INTERNATIONAL, 2017)

En la tabla a continuación se puede apreciar los valores promedio de rendimiento de sorción del pseudotallo de plátano en relación a g HC/g sorbente. Los valores detallados de rendimiento de cada prueba se pueden encontrar en el Anexo 5.

**Tabla 21-3:** Rendimiento de sorción del pseudotallo.

	<b>Prueba</b>	<b>Rendimiento medio</b>	<b>Desv. Estándar</b>	<b>Error estándar</b>
<b>Partícula I</b>	corta	2,0495	0,1349	0,0603
	dinámica	3,3832	0,14837	0,06635

	larga	8,3170	0,45541	0,20367
<b>Partícula II</b>	corta	5,3167	0,1263	0,0565
	dinámica	5,7327	0,1134	0,0507
	larga	6,6858	0,2415	0,1080
<b>Partícula III</b>	corta	7,1483	0,2200	0,0984
	dinámica	7,3235	0,2231	0,0998
	larga	8,0912	0,1620	0,0725

Fuente: Maricela Granda, 2019

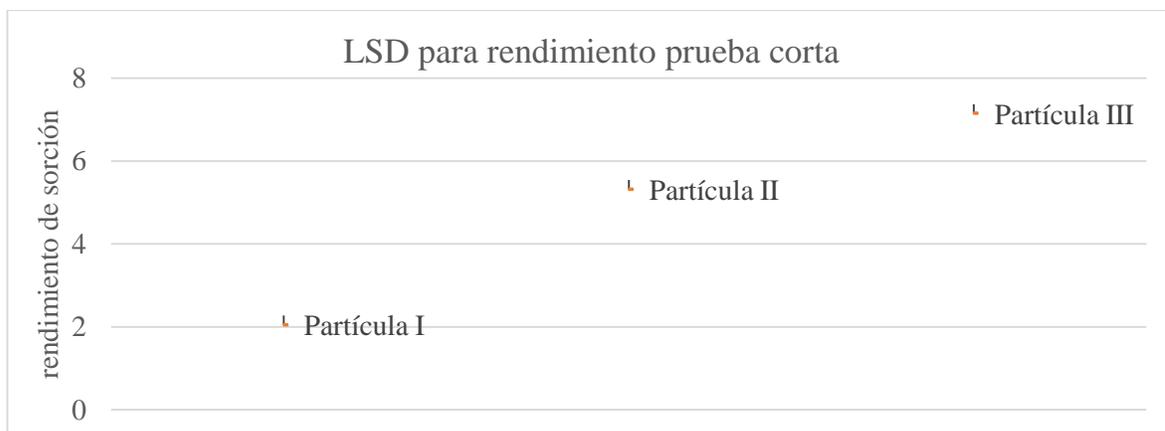
Al igual que para el análisis de concentraciones, se realizó un análisis de varianza de las medias de rendimiento de sorción de cada prueba, determinando si hay diferencias significativas o no entre los tipos de partícula.

**Tabla 22-3:** Anova para rendimientos de sorción de prueba corta

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	66,71176251	2	33,35588125	1211,90275	1,42966E-14	3,885293835
<b>Dentro de los grupos</b>	0,330282752	12	0,027523563			
<b>Total</b>	67,04204526	14				

Realizado por: Maricela Granda

En el Anova de un solo factor, para los rendimientos de sorción de prueba corta se concluye que el rendimiento de sorción de al menos una partícula es diferente a las demás. Por lo que se procede a aplicar la prueba estadística LSD para determinar las diferencias significativas del rendimiento de sorción entre las partículas.



**Gráfico 6-3: LSD para rendimiento en prueba corta**

Realizado por: Maricela Granda

Del análisis de intervalos LSD se puede evidenciar que la partícula con mayor rendimiento de adsorción en la prueba corta fue la de tipo III, con un rendimiento promedio de 7,1483 veces su peso adsorbido, sin embargo, es necesario recordar que, si bien el resultado se reporta como g de hidrocarburo sorbido/g de material, este puede contener una pequeña cantidad de agua que también pudo ser adsorbida debido a la hemicelulosa presente.

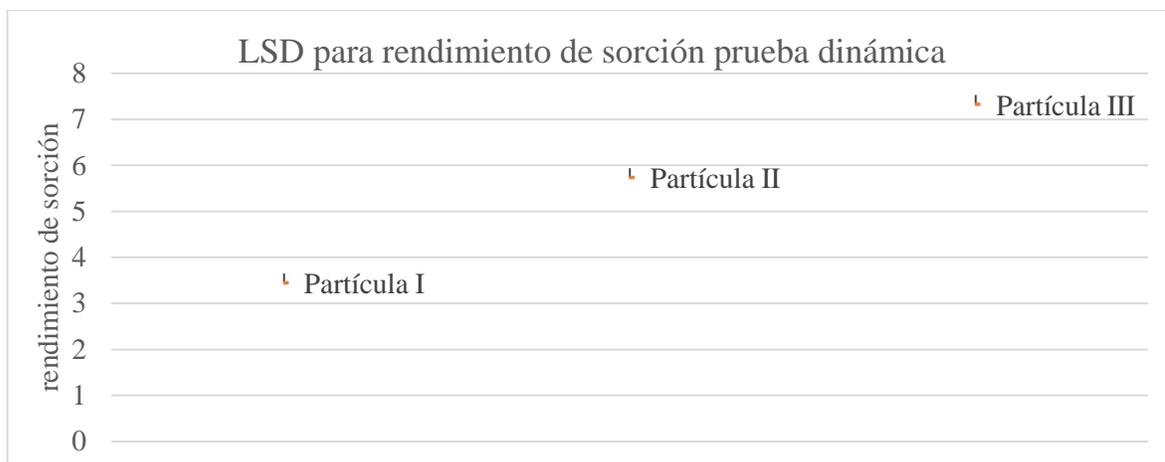
La tabla a continuación presenta el análisis de varianza de los rendimientos de sorción para la prueba dinámica:

**Tabla 23-3:** Anova del rendimiento de sorción de prueba dinámica.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	37,97991	2	18,98995	859,77143	1,1079E-13	3,88529
<b>Dentro de los grupos</b>	0,26504	12	0,02209			
<b>Total</b>	38,24496	14				

Realizado por: Maricela Granda, 2019

En el Anova de un solo factor para los rendimientos de sorción de prueba dinámica, se determina que el rendimiento de sorción de al menos una partícula es diferente. Por lo que se procede a aplicar la prueba estadística LSD para determinar las diferencias significativas del rendimiento de sorción entre las partículas.



**Gráfico 7-3: LSD para rendimiento en prueba dinámica**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

Del gráfico de intervalos LSD para la prueba dinámica, se puede observar que, en la prueba dinámica, las medias de los tres tipos de partícula presentan diferencias significativas entre sí, siendo la partícula de tipo III la que mayor capacidad de adsorción presentó con un valor promedio de 7,3235 veces su peso adsorbido.

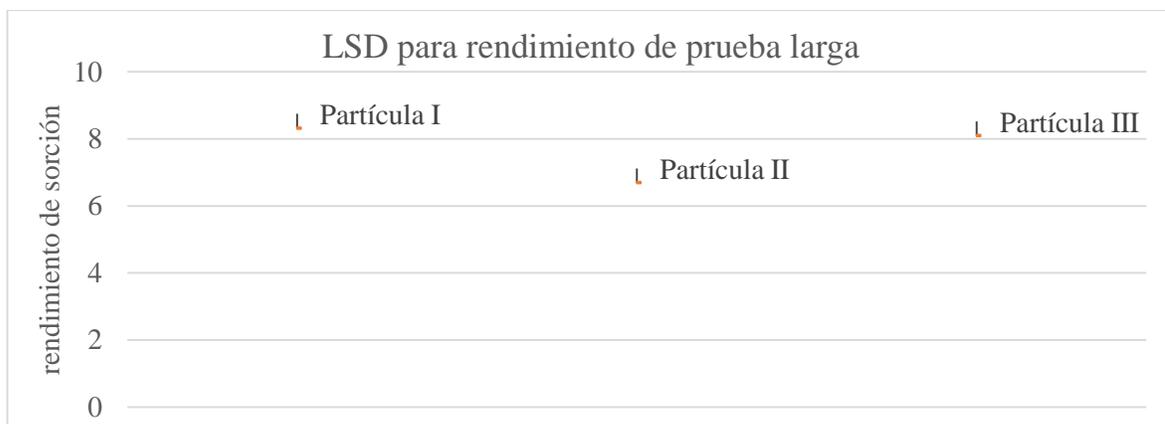
Por último, para la prueba de adsorción larga también se realizó el análisis de varianza, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 24-3:** Anova del rendimiento de sorción de prueba larga

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	7,8113715	2	3,9056858	40,13057	4,84144E-06	3,8852938
<b>Dentro de los grupos</b>	1,1678933	12	0,0973244			
<b>Total</b>	8,9792649	14				

Realizado por: Maricela Granda, 2019

En el Anova de un solo factor para los rendimientos de sorción de prueba larga, se concluye que el rendimiento de sorción de al menos una partícula es diferente a las demás. Por lo que se procede a aplicar la prueba estadística LSD para determinar las diferencias significativas del rendimiento de sorción entre las partículas.



**Gráfico 8-3: LSD para rendimiento en prueba larga**

Realizado por: Maricela Granda, 2019

El gráfico LSD evidencia que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos para las partículas I y III, por lo que se toma en cuenta el valor promedio máximo de adsorción de 8,3170 veces el peso del material, para la prueba larga.

Del análisis general se puede evidenciar que el rendimiento de sorción máximo del pseudotallo de plátano *Dominico harton* es de 8, 31 veces el peso del material en la prueba larga de la partícula I, Este rendimiento es notablemente mayor para el de un material comercial de origen natural (sphagnum, 5.74 veces su peso) y es muy similar al rendimiento del buchón de agua (8.26 veces su peso), pero si comparamos con el de la fibra de coco (11,1), el rendimiento del pseudotalloes menor (Ortiz Gonzáles et al, 2005, p.8)

Del análisis de la variación de las concentraciones, la partícula con mayor eficacia de remoción de contaminantes fue la de tipo I, por lo que se creería que la partícula con mayor rendimiento de sorción en las tres puebas debería ser la misma, sin embargo, como se explicó anteriormente el rendimiento de sorción no sólo hace referencia a los hidrocarburos adsorbidos, sino a la cantidad de solución contaminante adsorbida, tomándose en cuenta de forma indirecta el agua que también fue adsorbida, por ello es justificable que la partícula con mejor rendimiento de sorción no haya sido precisamente la partícula I.

El factor que regula la manera en la que se adhieren los hidrocarburos al pseudotallo, priorizandolos ante el ingreso del agua, es la hidrofobicidad, la cual se presenta gracias a las grasas que por su carácter orgánico permiten que los hidrocarburos se adhieran y repelen el agua en un inicio, sin embargo, ésta terminará ingresando al material, debido a la presencia de la hemicelulosa en el material que absorve agua.

De manera general, la capacidad de sorción incrementó con el tiempo de contacto, lo que concuerda con lo expuesto por Annuncio (2005, p.1342), quien además menciona que la reducción del tamaño de partícula incrementa la sorción casi dos veces, lo que puede evidenciarse al tener mayor rendimiento de sorción en la partícula de tipo III que tiene la granulometría más pequeña.

Si bien, en los resultados de sorción la partícula con mejor rendimiento fue la de tipo III, es necesario destacar las características físicas analizadas en el apartado anterior que hacen recomendable a la partícula I y no recomiendan a la partícula II y III. Por ello a continuación se presenta el comportamiento de otros parámetros que se midieron para tener una mejor comprensión de los procesos dados durante la adsorción en los tres tipos de partícula.

### 3.4.3. Comportamiento de la conductividad eléctrica

**Tabla 25-3:** Comportamiento de conductividad entre partículas

<b>Partícula</b>	<b>Prueba</b>	<b>Promedio conductividad eléctrica (mS)</b>	<b>Desv. estándar</b>	<b>Error estándar</b>
<b>I</b>	Dinámica	352,24	0,6025	0,2694
	Corta	304,3	3,2557	1,4560
	Larga	2150,94	11,2213	5,0183
<b>II</b>	Dinámica	402,28	2,3573	1,0542
	Corta	682,2	2,5884	1,1576
	Larga	1765	17,6777	7,9057
<b>III</b>	Dinámica	1983,4	2,5100	1,1225
	Corta	2143	2,4495	1,0954
	Larga	2285,4	6,1074	2,7313

Fuente: Maricela Granda

Como se puede observar, la conductividad eléctrica es elevada en todas las pruebas de cada partícula, evidenciando la presencia de sales disueltas principalmente en las partículas de tipo II, III y en la prueba larga de la partícula I, lo cual se puede relacionar con el comportamiento de la turbiedad que se muestra a continuación.

### 3.4.4. Comportamiento de la turbiedad

**Tabla 26-3:** comportamiento de turbiedad entre partículas

Partícula	prueba	Turbiedad promedio (NTU)	Desv. estándar	Error estándar
<b>I</b>	Dinámica	11,0480	0,2295	0,1026
	Corta	6,5260	0,1316	0,0589
	Larga	11,3460	0,2062	0,0922
<b>II</b>	Dinámica	13,3460	0,1060	0,0474
	Corta	6,8660	0,2062	0,0922
	Larga	15,0480	0,5981	0,2675
<b>III</b>	Dinámica	12,0725	0,1090	0,1393
	Corta	26,2200	0,3114	0,0545
	Larga	15,7780	0,1158	0,0518

Fuente: Maricela Granda, 2019

La medida de la turbiedad aumenta conforme aumenta el tiempo de contacto con el agua y conforme disminuye el tamaño de partícula, explicándose esto debido a que mientras más pequeña sea la partícula, los componentes están más sueltos, es decir tienen mayor libertad para mezclarse con el agua, disolverse o precipitar. Esta es una de las características principales para recomendar el uso de la partícula de tipo I ante las otras partículas.

### 3.4.5. Comportamiento del pH

**Tabla 27-3:** comportamiento de pH entre partículas

Partícula	prueba	pH Promedio	Desv. estándar	Error estándar
<b>I</b>	Dinámica	6,5500	0,0583	0,0261
	Corta	7,0020	0,0963	0,0431
	Larga	7,0140	0,0902	0,0403
<b>II</b>	Dinámica	6,4680	0,0687	0,0199
	Corta	6,3440	0,0445	0,0307
	Larga	6,5340	0,0808	0,0361
<b>III</b>	Dinámica	5,7600	0,0308	0,0138

Corta	5,7880	0,1248	0,0558
Larga	6,1320	0,0826	0,0369

Fuente: Maricela Granda, 2019

El rango de valores en el que se encuentra el pH es de 5.70 a 7.01, con tendencia a pH neutro, lo cual coincide con valores reportados por Salazar Hernández, (2012).

### 3.5. Empleo del pseudotallo con hidrocarburos como sustrato para cultivar *Pleurotus sp.*

En las tablas a continuación se muestran los resultados de colonización de *Pleurotus ostreatus*, a los 15 días de incubación en sustrato contaminado y no contaminado.

**Tabla 28-3:** Pseudotallo incubado con *P. ostreatus* por 15 días

	Frasco	Colonización %	Observaciones
Pseudotallo contaminado	P <sub>1</sub> D <sub>n</sub>	1	El hongo permanece vivo, pero no desarrolla el micelio, comportamiento constante durante los 15 días. Crecimiento lento en la base, ascendente por la partícula cuadrada
	P <sub>1</sub> C <sub>n</sub>	1	El hongo permanece vivo, pero no desarrolla el micelio, comportamiento constante durante los 15 días. Crecimiento lento en la base, ascendente por la partícula cuadrada
	P <sub>1</sub> L <sub>n</sub>	5	El hongo permanece vivo, pero no desarrolla el micelio, comportamiento constante durante los 15 días. Crecimiento lento en la base, ascendente por la partícula cuadrada
	P <sub>2</sub> D <sub>n</sub>	10	Crecimiento lento
	P <sub>2</sub> C <sub>n</sub>	10	Crecimiento lento
	P <sub>2</sub> L <sub>n</sub>	20	Crecimiento lento diferencia de colores en sustrato no colonizado (oscuro) y el colonizado (claro)
	P <sub>3</sub> D <sub>n</sub>	7	El hongo coloniza superficialmente
	P <sub>3</sub> C <sub>n</sub>	2	El hongo coloniza superficialmente
	P <sub>3</sub> L <sub>n</sub>	5	El hongo coloniza superficialmente
Pseudotallo no contaminado	P <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	20	Difícil adherencia por el tamaño y la disposición de la partícula, crecimiento ascendente
	P <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	15	Difícil adherencia por el tamaño y la disposición de la partícula, crecimiento ascendente
	P <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	95	Crecimiento desarrollado
	P <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	90	Crecimiento desarrollado

P <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	10	Limitado por el tamaño de la partícula, crecimiento superficial
P <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	20	Limitado por el tamaño de la partícula, crecimiento superficial

Fuente: Maricela Granda, 2019

Al comparar el crecimiento del hongo en pseudotallo contaminado y no contaminado, en el último es mejor de manera general, ya que si bien existen porcentajes de colonización bajos del sustrato no contaminado, esto se da en la partícula I que son cuadrados de 6x6 cm, cuyos haces conductores están dispuestos de manera vertical, por lo que el crecimiento del hongo se presenta de manera ascendente y en la partícula de tipo III, cuya granulometría es muy baja comparada con las demás, se presenta un crecimiento sobre todo superficial ya que se nota que no existen espacios adecuados entre las partículas para que el micelio se disperse, debido a que por la humedad retenida se forma una especie de masa.

En los frascos con pseudotallo contaminado se puede observar que el hongo tiene menor actividad que en el pseudotallo no contaminado, diferenciándose por una menor densidad de los micelios presentes.

Los microorganismos degradan fácilmente los hidrocarburos lineales, sin embargo, la degradación de los aromáticos se les dificulta conforme aumenta el número de anillos, aumentando su peso molecular. Es ahí donde se aprovecha la actividad de *Pleurotus ostreatus* cuya capacidad para degradar HAPs ha sido demostrada. (Singh, 2006) (Déley, 2010) (Sifuentes Vásquez, 2014)

*Pleurotus ostreatus* normalmente no utiliza la lignina como fuente de carbono, si no que la oxida y rompe para eliminar la barrera química y tener acceso a los polisacáridos de la madera que representan una importante fuente de energía (Jeffries. W, 1990) Las enzimas lignolíticas al degradar la lignina forman radicales libres intermedios altamente reactivos que tienden a aceptar o ceder un electrón, oxidando o reduciendo compuestos alternos.

La capacidad degradadora de lignina e hidrocarburos se debe a la actividad Lacasa y Manganese Peroxidasa (Hatakka, 1994). Al ser las enzimas extracelulares permiten que el hongo tolere concentraciones relativamente altas de contaminantes tóxicos. Adicionalmente, las enzimas al ser liberadas para la obtención de nutrientes, participan en interacciones interespecíficas con otros microorganismos del medio, involucrándose en la transformación orgánica de este.

En estudios de biorremediación de sedimentos del río Mahoning contaminado con HAPs, el hongo cultivado en cebada, aserrín, papel periódico rasgado, fuente de Nitrógeno y ciclodextrina; obteniéndose una degradación de más del 50% de 9 de los 11 HAPs estudiados, con la observación

de que la masa fúngica fue mayor en el tratamiento que presentó mayor degradación. (Bosiljic, GR, Gacura, MD & Johnston, CG. 2008)

Sin embargo, en el estudio desarrollado por Sifuentes, (2014, p. 54) que determinó las diferencias en el crecimiento de *P. ostreatus* cultivado en suelos sin contaminante, contaminado con hidrocarburos, contaminado con hidrocarburos y suplementado con torta de soya y en suelo contaminado con hidrocarburos y suplementado con aserrín; obteniendo un mejor resultado de crecimiento en el suelo sin contaminante con un crecimiento mayor del micelio.

Sifuentes además comparó el crecimiento en tratamientos de trigo y de cebada, obteniendo una disminución en el crecimiento del micelio en ambos, debido principalmente a la pérdida de humedad de los sistemas (Sharma, V.P. & Kumar, S., 2011) y por la falta de una fuente de carbono ya que el petróleo, al igual que la lignina, no puede ser utilizado como fuente de carbono por el hongo, sino que su degradación es consecuencia del metabolismo secundario de éste (Rubilar, O. 2007; Chaparro, D & Rosas, D., 2006).

Por lo tanto, para garantizar la sobrevivencia del hongo, deben agregarse sustratos lignocelulósicos en una proporción adecuada para mantener la humedad en el sistema, así como la proporción de C/N que sea disponible (Adenipekun C. O. & Lawal R., 2012).

Se puede concluir que el crecimiento del hongo fue limitado en el pseudotallo contaminado, principalmente por las concentraciones de hidrocarburos, ya que al haber adsorbido el pseudotallo los hidrocarburos del agua en un 70-97%, estos se encuentran en cantidades muy altas, notables por las características organolépticas que presentó el pseudotallo contaminado, lo cual pudo causar un estrés al hongo y limitar su crecimiento hasta poder degradar al contaminante, esto sumado a las características de las partículas I y III que no proveen una adecuada porosidad, contrario a la partícula II que es la que mayor crecimiento del micelio reportó, incluso pudiéndose observar cambios en la coloración del sustrato que se mantuvo color oscuro en las partes que no fue colonizado y color claro en las partes colonizadas.

En cuanto al sustrato sin contaminante, se observó un crecimiento menor del micelio en las partículas de tipo I y III comparado con la partícula II debido a que sus tamaños no permiten una condición óptima para la colonización, como en el caso de la partícula de tipo II cuyo crecimiento fue el mejor obteniéndose una colonización del 90-95% del sustrato en 15 días. Siendo este tamaño de partícula el recomendado para el cultivo de *P. ostreatus* en pseudotallo de plátano *Dominico harton*.

## CONCLUSIONES

- De la caracterización del pseudotallo de plátano *Dominico harton* se concluye que tiene una gran capacidad de adsorción. De igual manera, de acuerdo a la caracterización del agua contaminada, ésta es apta para ser sometida a un tratamiento de recuperación.
- El pseudotallo de plátano *Dominico harton* presenta una capacidad de bioadsorción de hidrocarburos de hasta el 97% de la concentración inicial, lo que lo hace un biosorbente recomendado para aplicarlo en la recuperación de hidrocarburos de agua contaminada. En cuanto al rendimiento de sorción del pseudotallo, es de hasta 8,317 veces su peso, siendo incluso superior que ciertos sorbentes naturales comerciales.
- El contenido de celulosa en el pseudotallo está relacionado con la capacidad del fluido para penetrar por las fibras tubulares presentes en mayor proporción de forma vertical. Respecto al contenido de lignina en el pseudotallo (10.72%), éste lo hace apto como sustrato para el cultivo de *P. ostreatus*, utilizando el pseudotallo contaminado y no contaminado como sustrato.
- Además de la capacidad de remoción de hidrocarburos, el pseudotallo posee otras características importantes como flotabilidad, porosidad y baja sorción de agua, para seleccionarlo como un material sorbente de hidrocarburos.
- Las ceras presentes en el pseudotallo de *Dominico harton* le proporcionan un carácter hidrofóbico, responsable de la flotabilidad y permite el ingreso de los hidrocarburos al material, priorizándolos ante la sorción del agua.
- Las partículas de tipo II y III no son apropiadas para su uso en aguas abiertas debido a que en la prueba de flotabilidad obtuvieron un resultado negativo y desprendían partículas que alteraban notablemente las características del agua, contrario a la partícula de tipo I (6x6cm), cuyas características físicas impiden que ésta precipite en el agua y reporta una menor presencia de partículas de pseudotallo dispersas.

- El crecimiento de *P. ostreatus* en pseudotallo contaminado fue limitado en los 15 primeros días debido a las altas concentraciones de hidrocarburos que retuvo el material. En cuanto al tallo no contaminado, la partícula de tipo II (2.36-5 mm) presenta mejor colonización, hasta el 95%, debido a sus características físicas como tamaño y porosidad.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento del material ante variables como la concentración inicial y la temperatura de secado.
- Contrastar los resultados obtenidos de la bioadsorción de hidrocarburos en ensayos de lecho fijo con circulación de agua, para determinar de manera exacta el punto de saturación del material en función de distintas variables.
- Utilizar partículas de tamaños que garanticen que los haces conductores del material se mantengan para permitir que el hidrocarburo se adhiera por capilaridad y para una mayor facilidad en su recuperación.
- Continuar con la investigación referente al cultivo de *P. ostreatus* en distintas concentraciones del contaminante.
- Dar un uso a los residuos procedentes del cultivo de *P. ostreatus*, ya sea en algún tipo de compostaje o biofertilizante, dependiendo de las pruebas de toxicidad requeridas para determinar su calidad.
- Estudiar otros usos para las fracciones de partícula que no fueron utilizadas en el presente trabajo, por ejemplo, en harinas o suplementos alimenticios para animales, debido a sus importantes contenidos de fibra, proteína y minerales.

## BIBLIOGRAFÍA

**Araújo de Sousa, Antonio Éder, et al. 2014.** 47, s.l. *Adsorption of Safranin on Pseudostem Banana Fibers.*: Taylor & Francis, 2014, Separation Science and Technology, págs. 2681-2688.

**Amorocho Cortés, Enrique y Oliveros Villamizar, Germán. 2000.** *Apuntes sobre energía y recursos energéticos.* primera. s.l. : UNAB, 2000. pág. 23.

**Annunciado, Sydenstricker y Amico. 2005.** *Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills.* 11, s.l. : Marine Pollution Bulletin, 2005, Marine Pollution Bulletin, Vol. L, págs. 1340-1346.

**Arango, S. Pérez, A. 2012.** MONTAJE Y ESTANDARIZACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES EN MATRICES DE AGUA POR MEDIO DE LAS TÉCNICAS DE INFRARROJO Y ULTRAVIOLETA . Pereira, Colombia : s.n., 2012.

**Association of Oficial Analytical Chemist. 1990.** *Official Methods of Analysis.* [ed.] Kenneth Helrich. 15. USA : s.n., 1990. págs. 312-336. Vol. 1.

**ASTM International. 2017.** ASTM F726-17. Método de prueba estándar para el rendimiento sorbente de los adsorbentes para uso en petróleo crudo y derrames relacionados. [En línea] 4, 2017. [Citado el: 25 de Junio de 2018.] <https://www.astm.org/Standards/F726.htm>.

**ATSDR. 2016.** Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades. [En línea] abril de 2016. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_toxfaqs.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_toxfaqs.html).

**Belalcázar Carvajal, Silvio. 1991.** *Aspectos Agronómicos en el cultivo de plátano en el trópico. Manual de asistencia técnica No. 50.* Cali : Ferival Ltda., 1991, pág. 376.

**Bolaños, Ernesto. 2012.** Muestra y Muestreo. [En línea] Junio de 2012. [www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/tizayuca/gestion\\_tecnologica/muestraMuestreo.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestraMuestreo.pdf).

**Carranza, Jorge y Sánchez, Manuel. 2002.** *CINÉTICA DE SECADO DE Musa paradisiaca L. "PLÁTANO" Y Manihot esculenta Grantz "YUCA".* 1, Iquitos : s.n., 2002, Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, Vol. II, págs. 15-25.

**Cataño Rueda, Elkin Hernán. 2009.** *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE NANOFIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES.* Universidad Nacional de Colombia. Medellín : s.n., 2009. Trabajo final de grado.

**CEPAL. 2012.** *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador.* 2012. pág. 15.

**Comunidad Petrolera. 2012.** Definición de permeabilidad.. [En línea] 1 de septiembre de 2012. <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2012/09/definicion-de-la-permeabilidad.html>.

**Cuadrado, C. 2017.** ANÁLISIS DE LA FIBRA OBTENIDA DEL RAQUIS DE LA PLANTA MUSA PARADISIACA, UTILIZADA COMO LECHO FILTRANTE EN LA ADSORCIÓN DEL PARÁMETRO COLOR PRESENTE EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA GUIJARRO. Riobamba : s.n., 2017.

**Da Silva, A. 2012.** Definición de la porosidad. *Comunidad Petrolera.* [En línea] 2 de agosto de 2012. <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2012/08/definicion-de-la-porosidad.html>.

**Déley, A. 2010.** Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo del campamento Sacha 161 utilizando el hongo *P. ostreatus*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2010.

- Dominguez, J. 2017.** Determinacion de celulosa por el metodo de Kurschner y Hoffer. *Academia.edu*. [En línea] 2017. [http://www.academia.edu/4183786/Determinacion\\_de\\_celulosa\\_por\\_el\\_metodo\\_de\\_Kurschner\\_y\\_Hoffer](http://www.academia.edu/4183786/Determinacion_de_celulosa_por_el_metodo_de_Kurschner_y_Hoffer).
- FLACSO. 2003.** Explotación petrolera: ¿Oportunidad para el Desarrollo Sostenible o una seria amenaza? [ed.] Guillaume Fontaine. *Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador*. primera. Quito : Flacso, 2003, Vol. 1, pág. 11.
- Gaitán Hernández, Rigoberto, y otros. 2006.** *Manual práctico del cultivo del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*. 1ra. Xalapa : Instituto de Ecología, 2006. pág. 56.
- Gañan, Piedad, y otros. 2008.** *Plantain fibre bundles isolated from Colombian agro-industrial residues*. 3, s.l. : Elsevier, febrero de 2008, Bioresource Technology, Vol. 99, págs. 486-491.
- GeankoplisC. 1998.** *Procesos de Transporte y operaciones unitarias*. México : Compañía Editorial Continental S.A, 1998.
- Guerrero, Ana Belén, y otros. 2015.** *GIS-Based Assessment of Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study*. 2, El Oro-Ecuador : Springer Países Bajos, 10 de Diciembre de 2015, Vol. VII, págs. 405-4015.
- Hatakka, Annele. 1994.** *Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation*. 2-3, marzo de 1994, FEMS Microbiology Reviews, Vol. XIII, págs. 125-135.
- INEC. 2014.** Instituto Nacional de estadística y censos. [En línea] 13 de noviembre de 2014. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2013.** *INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras*. Quito-Ecuador : s.n., 2013.
- ISO 14064-1. 2006.** International Organization for Standardization. [En línea] 1 de Marzo de 2006. <http://www.iso.org>.
- Izquierdo Oviedo, Humberto. 2009.** *Empleo de follaje de plantas de Musa spp como alternativa para la alimentacion animal*. 51, La Habana : s.n., Enero de 2009, Temas de Ciencia Y Tecnología, pág. Pág 49.
- LEE Beom-Goo, HAN James S., and ROWELL Roger M.** *Oil Sorption By Lignocellulosic Fibers*. págs. pag 424-433.
- MAE. 2017.** Programa de Reparación Ambiental y Social. [En línea] enero de 2017. [Citado el: 22 de enero de 2018.] <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/informacion-eh>.
- Manrique Carvajal, Angelica María y Rivera Galvis, Diego Armando. 2012.** *Aprovechamiento de los residuos del pseudotallo del banano común (Musa sp AAA) y del bocadillo (Musa sp AA) para la extracción de fibras textiles*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira : s.n., 2012. Trabajo de Grado previo a la obtención del título de tercer nivel.
- Martinez Nodal, Pastora de la Concepción, y otros. 2014.** *Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos*. 565, Santa Clara-Cuba : Instituto Químico de Sarriá, 2014, AFINIDAD: Revista de química teórica y aplicada, Vol. 71, págs. 57-62.
- Mazzeo Meneses, Miguel, y otros. 2010.** 9, Junio de 2010. *Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas.*, Educación en Ingeniería, Vol. V, págs. 128-139.
- McCabe W, Smith J, Harriot P. 1991.** *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Madrid : Mc Graw-Hill, 1991.

**Molina Morales, Glenda Dayana. 2016.** *IMPLEMENTACIÓN DE UN CULTIVO DE PLÁTANO HARTÓN (Musa paradisiaca) EN ALTAS DENSIDADES COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE CÚCUTA NORTE DE SANTANDER.* Universidad de La Salle. Cúcuta : s.n., 2016. pág. 15, Trabajo final de grado.

**NTE INEN 2 176:1998** Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Quito-Ecuador : s.n., 1998.

**Nava Solís, Gabriela. 2017.** *Determinación de la concentración de los hidrocarburos policíclicos aromáticos naftaleno, fenantreno, fluoranteno y pireno por fluorescencia de excitación, emisión y sincrónica en medios altamente salinos.* UNIVERSIDAD DE IXTLAHUACA. Ixtlahuaca, Estado de México : s.n., 2017. Tesis de grado.

**Oilwatch. 2005.** Petroleo en el Ecuador. [En línea] 2005. [www.oilwatch.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=42&Itemid=225&limit=1&limitstart=4&lang=es](http://www.oilwatch.org/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=225&limit=1&limitstart=4&lang=es).

**Organización Marítima Internacional. 2005.** *Manual sobre la contaminación provocada por hidrocarburos. Parte IV.* Londres : IMO Publishing, 2005.

**Ortiz Gonzáles, Diana Paola, y otros. 2005.** BIOMATERIALES SORBENTES PARA LA LIMPIEZA DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y CUERPOS DE AGUA. *Confederación Interamericana de Ingeniería Química.* [En línea] 2005. [Citado el: 22 de Junio de 2018.] [http://www.ciiq.org/varios/peru\\_2005/Trabajos/III/1/3.1.07.pdf](http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/III/1/3.1.07.pdf).

**Otálora, Mildred. 2012.** *Validación del método analítico para determinación de Hidrocarburos en muestras de agua en el Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.* Universidad Santo Tomas. Bogotá : s.n., 2012. Trabajo de grado.

**PRAS.MAE. 2015.** Sistema Multidimensional de Estadísticas Socio Ambientales de las Actividades Productivas. [En línea] Diciembre de 2015. <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/fuentes-de-contaminacion-por-dpa>.

**Quintero, Juan, Feijoo, Gumersindo y Lema, Juan. 2006.** *Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales lignocelulósicos.* 2, Medellín-Colombia : s.n., 2006, Vitae, Vol. XIII, págs. 61-67.

**Rincones Poyer, Félix, et al. 2015.** 3, 2015. *Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar.*, SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, Vol. XXVII, págs. 441-453.

**Rodríguez Silos, José María. 2008.** *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos.* Cádiz-España : Universidad de Cádiz, 2008.

**Romero, Omar, y otros. 2010.** *Evaluación de la capacidad productiva de Pleurotus ostreatus con el uso de la hoja de plátano (Musa paradisiaca L., CV. Roatan) deshidratada, en la relación con otros sustratos agrícolas.* 1, s.l. : Counsil, 1 de enero de 2010, Agronomía Costarricense, Vol. 34, pág. 53.

**Sanchez Javier F. 2017.** Ley de Darcy. Conductividad Hidráulica. *Universidad de Salamanca.* [En línea] 2017. [hidrologia.usal.es](http://hidrologia.usal.es).

**Salazar Hernández, Elizabeth. 2012.** *Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: efecto del tamaño de partícula.* Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. San Luis de Potosí - México : Agenda Ambiental, 2012. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias Ambientales.

**Sánchez Vázquez, José Ernesto y Royse, Daniel. 2001.** *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* 1ra. México : Uteha-Ecosur, 2001. pág. 290.

**SIESAP. 2015.** Programa de Reparación Ambiental y Social. MAE. [En línea] Enero de 2015. <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/infraestructura-petrolera-por-dpa>.

**Sifuentes Vásquez, Enith Magaly. 2014.** *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo.* Lima-Perú : s.n., 2014. pág. 42, tesis de grado.

**Singh, Harbhajan. 2006.** *Mycoremediation: Fungal Biorremediation.* New Jersey : Wiley, 2006. pág. 592. Vol. I.

**Soares, et al. 2011.** *FUNGOS NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.* 2, Sao Paulo : s.n., junio de 2011, Arquivos do Instituto Biológico, Vol. 78, págs. 341-350.

**UniProt. 2018.** Base de datos taxonómica. [En línea] 2018. <http://www.uniprot.org/help/taxonomy>.

**Universidad Politécnica de Madrid. 2016.** *Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de bioetanol.* 2016, RETEMA. Revista Técnica del Medio Ambiente.

**Vallejo, Victoria, Salgado, Laura y Roldan, Fabio. 2005.** *Evaluación de la Bioestimulación en la Biodegradación de TPHs en Suelos Contaminados con Petróleo.* N° 2, 2005, Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. Vol. VII, págs. 67- 68.

**Vargas Soto, Luis Fernando, Martínez Yepes, Pedro Nel y Guarnizo Franco, Anderson. 2013.** 1, 2013. *Algunas características fisicoquímicas del jugo del pseudotallo del plátano Dominic Hartón.*, Revista de Ciencias, Vol. 17, págs. 47-57.

## ANEXOS

### Anexo A: Barrido espectral.



**Gráfico. Barrido espectral de la solución para determinar la curva de calibración**

Fuente: Maricela Granda, 2019

#### **Características del barrido:**

GENESYS 10S UV-Vis v4.006 2L5S286229

Barrido, "10:48am 17 octubre18"

Nombre Análisis, "BE"

Modo de medición, "Absorbancia"

L.O. de inicio, "200.0nm"

L.O. final, "500.0nm"

Posicionador de Muestras, "Manual 6"

Velocidad de Barrido, "R pido"

Intervalo, "1.0nm"

Nombre archivo de datos, "MG"



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

**INFORME DE ENSAYO No:  
ST:**

TV- 005-18  
005- 18 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

**Nombre Peticionario:  
Atn.  
Dirección:**

NA  
Maricela Granda  
Riobamba  
Riobamba-Chimborazo

**FECHA:  
NUMERO DE MUESTRAS:  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:  
FECHA DE MUESTREO:  
FECHA DE ANÁLISIS:  
TIPO DE MUESTRA:  
CÓDIGO CESTTA:  
CÓDIGO DE LA EMPRESA:  
PUNTO DE MUESTREO:  
ANÁLISIS SOLICITADO:  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:  
CONDICIONES AMBIENTALES:**

19 de Junio del 2018  
1  
2018/05/30 - 15:20  
2018/05/05  
2018/05/30 - 2018/06/19  
Tejido Vegetal  
LAB-TV 005-18  
M.R.P  
Sucumbios, vía Tarapoa Km 43 Finca  
Químico  
Maricela Granda  
T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

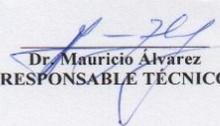
**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Proteína	Volumetrico	%	2,58	-
Fibra	Gravimetrico	%	29,62	-
Cenizas	Gravimetrico	%	26,41	-
Grasa	Gravimetrico	%	1,22	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Álvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO



**Anexo B: Informe de ensayo CESTTA**

**Anexo C: Informe de ensayo INIAP**

	<b>INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b> <b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b> <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD</b> <b>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS</b> Panamericana Sur Km. 1, Cutuglagua Tlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340	

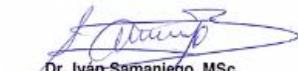
## INFORME DE ENSAYO No: 19-006

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b>	Maricela Granda Solano	<b>INSTITUCION:</b>	Particular
<b>DIRECCION:</b>	Riobamba	<b>ATENCION:</b>	Maricela Granda Solano
<b>FECHA DE EMISION:</b>	24 de enero de 2019	<b>FECHA DE RECEPCION.:</b>	09.01.2019
<b>FECHA DE ANALISIS:</b>	Del 10 al 24 de enero de 2019	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	15H45
		<b>ANALISIS SOLICITADO</b>	Van soest

ANÁLISIS	HUMEDAD	F.D.N. <sup>Ω</sup>	F.D.A. <sup>Ω</sup>	LIGNINA <sup>Ω</sup>			IDENTIFICACIÓN
<b>METODO</b>	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-02.01	MO-LSAIA-02.02	MO-LSAIA-02.03			
<b>METODO REF.</b>	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970			
<b>UNIDAD</b>	%	%	%	%			
19-0036	8,58	54,80	46,52	10,72			Tejido vegetal MCI

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

  
**Dr. Iván Samaniego, MSc.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

RESPONSABLES DEL INFORME



  
**Ing. Bladimir Ortiz**  
**RESPONSABLE CALIDAD**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

**Anexo D: Detalle de resultados de remoción de hidrocarburos en función de la concentración.**

Partícula I

<b>Prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración HC (g/ml)</b>	<b>% remoción</b>
<b>Corta</b>	P1C1	0,958	0,0608	73,8368
	P1C2	0,925	0,0580	75,0661
	P1C3	0,806	0,0477	79,4993
	P1C4	0,797	0,0469	79,8346
	P1C5	0,917	0,0573	75,3642
	P1CB	2,940	0,2325	0
			Promedio	76,7202
			Desviación estándar	2,7528
<b>Dinámica</b>	P1D1	0,444	0,0163	92,9877
	P1D2	0,478	0,0193	91,7216
	P1D3	0,503	0,0214	90,7906
	P1D4	0,558	0,0262	88,7424
	P1D5	0,532	0,0239	89,7106
	P1DB	2,941	0,2326	0
			Promedio	90,7906
			Desviación estándar	1,6625
<b>Larga</b>	P1L1	0,324	0,0059	97,4556
	P1L2	0,325	0,0060	97,4183
	P1L3	0,324	0,0059	97,4556
	P1L4	0,321	0,0057	97,5673
	P1L5	0,324	0,0059	97,4742
	P1LB	2,940	0,2325	0
			Promedio	97,4742
			Desviación estándar	0,0559

Fuente: Maricela Granda

Partícula II

<b>Prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración HC (g/ml)</b>	<b>% remoción</b>
<b>Corta</b>	P2C1	0,621	0,0316	86,3912
	P2C2	0,623	0,0318	86,3167
	P2C3	0,622	0,0317	86,3540
	P2C4	0,617	0,0313	86,5403
	P2C5	0,621	0,0316	86,3912
	P2CB	2,940	0,2325	0
			Promedio	86,3987
			Desviación estándar	0,0850
<b>Dinámica</b>	P2D1	0,554	0,0258	88,8996
	P2D2	0,548	0,0253	89,1229
	P2D3	0,585	0,0285	87,7461
	P2D4	0,586	0,0286	87,7089
	P2D5	0,584	0,0284	87,7833
	P2DB	2,943	0,2327	0
			Promedio	88,2521
			Desviación estándar	0,6980
<b>Larga</b>	P2L1	0,493	0,0206	91,1630
	P2L2	0,492	0,0205	91,2002
	P2L3	0,496	0,0208	91,0699
	P2L4	0,495	0,0207	91,0885
	P2L5	0,502	0,0213	90,8278
	P2LB	2,941	0,2326	0
			Promedio	91,0699
			Desviación estándar	0,1454

Fuente: Maricela Granda,2019

Partícula III

<b>Prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración HC (g/ml)</b>	<b>% remoción</b>
<b>Corta</b>	P3C1	1,078	0,0712	69,3777
	P3C2	1,080	0,0714	69,3032
	P3C3	1,073	0,0708	69,5639
	P3C4	1,081	0,0715	69,2660
	P3C5	1,088	0,0721	69,0053
	P3CB	2,941	0,2326	0
			Promedio	69,3032
			Desviación estándar	0,2023
<b>Dinámica</b>	P3D1	0,893	0,0552	76,2582
	P3D2	0,876	0,0537	76,8916
	P3D3	0,882	0,0542	76,6680
	P3D4	0,871	0,0533	77,0778
	P3D5	0,880	0,0541	76,7425
	P3DB	2,940	0,2325	0
			Promedio	76,7276
			Desviación estándar	0,3056
<b>Larga</b>	P3L1	0,691	0,0377	83,7835
	P3L2	0,693	0,0379	83,7090
	P3L3	0,691	0,0377	83,7835
	P3L4	0,671	0,0360	84,5286
	P3L5	0,684	0,0371	84,0443
	P3LB	2,940	0,2325	0
			Promedio	83,9698
			Desviación estándar	0,3373

Fuente: Maricela Granda, 2019

## Anexo E: Detalle de resultados de rendimiento del material

### Partícula I

<b>prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>peso tallo seco</b>	<b>peso tallo húmedo</b>	<b>capacidad de sorción</b>
<b>corta</b>	P1C1	3,246	6,83	2,1041
	P1C2	3,8175	6,92	1,8127
	P1C3	3,3208	6,8889	2,0745
	P1C4	3,1068	6,552	2,1089
	P1C5	3,1403	6,7435	2,1474
			promedio	2,0495
			Desv. Estándar	0,1349
			error estándar	0,0603
<b>dinámica</b>	P1D1	3,1069	10,587	3,4076
	P1D2	3,2032	11,1061	3,5347
	P1D3	3,2896	11,3225	3,3761
	P1D4	3,35	10,5202	3,1404
	P1D5	3,2497	11,2347	3,4571
			promedio	3,3832
			desv. Estándar	0,14837
			error estándar	0,06635
<b>larga</b>	P1L1	3,3478	28,37	8,4742
	P1L2	3,3689	28,1271	8,7061
	P1L3	3,3953	29,0476	8,5552
	P1L4	3,7281	29,33	7,5446
	P1L5	3,2914	27,3351	8,3050
			promedio	8,3170
			desv. Estándar	0,45541
			error estándar	0,20367

Fuente: Maricela Granda, 2019

Partícula II

<b>prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>peso tallo seco</b>	<b>peso tallo húmedo</b>	<b>capacidad de sorción</b>
<b>corta</b>	P2C1	3,4212	18,0245	5,2685
	P2C2	3,4211	17,6455	5,1578
	P2C3	3,422	18,0171	5,2651
	P2C4	3,4209	18,6082	5,4396
	P2C5	3,4211	18,6545	5,4528
			promedio	5,3167
			desv. Estándar	0,1263
			error estándar	0,0565
<b>dinámica</b>	P2D1	3,4201	19,2942	5,6414
	P2D2	3,4208	19,1208	5,5896
	P2D3	3,421	19,7436	5,7713
	P2D4	3,4199	20,0469	5,8618
	P2D5	3,4207	19,8387	5,7996
			promedio	5,7327
			desv. Estándar	0,1134
			error estándar	0,0507
<b>larga</b>	P2L1	3,4202	23,9054	6,9895
	P2L2	3,421	22,1278	6,4682
	P2L3	3,4198	22,8375	6,6780
	P2L4	3,4209	23,4661	6,8596
	P2L5	3,4209	22,0096	6,4339
			promedio	6,6858
			desv. Estándar	0,2415
			error estándar	0,1080

Fuente: Maricela Granda

Partícula III

<b>prueba</b>	<b>muestra</b>	<b>peso tallo seco</b>	<b>peso tallo húmedo</b>	<b>capacidad de sorción</b>
<b>corta</b>	P3C1	3,5329	26,6321	7,5383
	P3C2	3,9016	27,3336	7,0057
	P3C3	3,8824	27,3645	7,0483
	P3C4	3,8809	27,5079	7,0880
	P3C5	3,8876	27,451	7,0612
			promedio	7,1483
			desv. Estándar	0,2200
			error estándar	0,0984
<b>dinámica</b>	P3D1	3,4204	24,2928	7,1023
	P3D2	3,4201	24,8513	7,2662
	P3D3	3,4206	24,911	7,2826
	P3D4	3,4208	26,341	7,7002
	P3D5	3,4205	24,8535	7,2660
			promedio	7,3235
			desv. Estándar	0,2231
			error estándar	0,0998
<b>larga</b>	P3L1	3,8517	32,0015	8,3084
	P3L2	3,8076	29,9159	7,8569
	P3L3	3,8715	31,33	8,0925
	P3L4	3,8883	31,1797	8,1364
	P3L5	3,8676	31,6369	8,0618
			promedio	8,0912
			desv. Estándar	0,1620
			error estándar	0,0725

Fuente: Maricela Granda, 2019

**Anexo F: Evidencia fotográfica de la metodología seguida**

	
<p>1. Plantas de plátano <i>Dominico harton</i></p>	<p>2. Pseudotallo de plátano cortado</p>
	
<p>3. Muestras para determinación de humedad</p>	<p>4. Porción de pseudotallo seco</p>
	
<p>5. Preparación de inóculos de <i>P. ostreatus</i></p>	<p>6. Medición de pH de pseudotallo</p>



7. Prueba de flotabilidad



8. Diluciones utilizadas en la curva de calibración



9. Preparación de agua contaminada con diesel



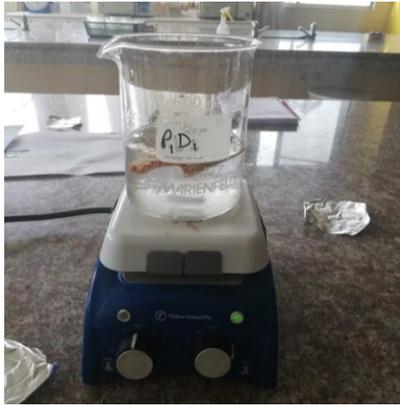
10. Prueba corta, partícula I



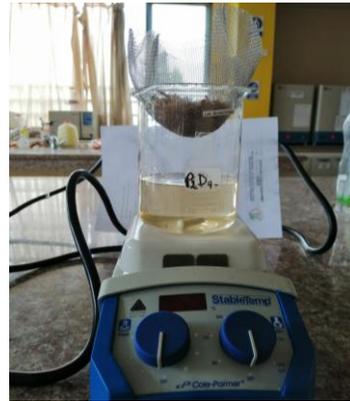
11. Prueba corta, partícula II



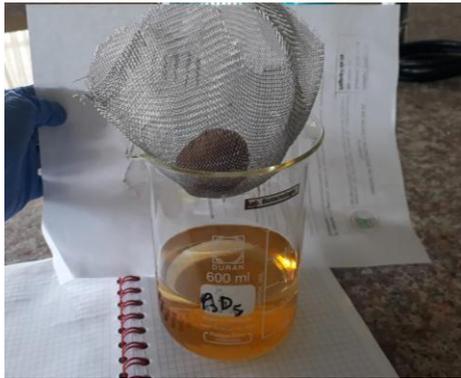
12. Prueba corta, partícula III



13. Prueba dinámica, partícula I



14. Prueba dinámica, partícula II



15. Prueba dinámica, partícula III



16. Prueba larga, partícula I



17. Prueba larga, partícula II



18. Prueba Larga, partícula III



19. Partícula I



20. Partícula II



21. Almohadilla con partícula III



22. Recuperación de partículas.



23. Extracción de hidrocarburos con hexano



24. Fase orgánica extraída con grasas presentes



25. Agitación de la fase orgánica con sílica gel



26. Filtración de la fase orgánica.



27. Medición de absorbancia en el espectrofotómetro



28. Recipientes con fracciones orgánicas resultantes



29. Pesaje de recipientes con fracciones orgánicas



30. Medición de turbiedad del agua



31. Frascos con residuos de pseudotallo contaminado



32. Frascos con pseudotallo no contaminado

Anexo G. Cultivo de *P. ostreatus*



1. P1Cn



2. P1Dn



3. P1Ln



4. P2Cn



5. P2Dn



6. P2Ln



7. P3Cn



8. P3Dn



9. P3Ln



10. P1B1



11. P1B2



12. P2B1



13. P2B2



14. P3B1



15. P3B2



16. Fibras capilares del pseudotallo