



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) Y PSEUDOTALLO DEL PLÁTANO (*Dominico harton*)
COMO BARRERAS NATURALES ADSORBENTES OLEOFÍLICAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: PETTY FLOR AGUILAR SOLÓRZANO, MERLYN
MAGDALENA MERINO PALMA

DIRECTOR(A): ING. JENNIFER ALEXANDRA OREJUELA ROMERO M.Sc.

El Coca – Ecuador

2024

© 2024, Petty Flor Aguilar Solórzano y Merlyn Magdalena Merino Palma

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.

Nosotras, Petty Flor Aguilar Solórzano y Merlyn Magdalena Merino Palma declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 27 de junio de 2024



Petty Flor Aguilar Solórzano
C.I. 2100903729



Merlyn Magdalena Merino Palma
C.I. 2200226971

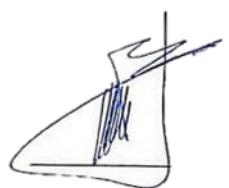
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) Y PSEUDOTALLO DEL PLÁTANO (*Dominico harton*) COMO BARRERAS NATURALES ADSORBENTES OLEOFÍLICAS**, realizado por las señoritas: **PETTY FLOR AGUILAR SOLÓRZANO Y MERLYN MAGDALENA MERINO PALMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

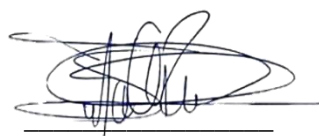
FECHA

Ing. Carlos Mestanza Ramón, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



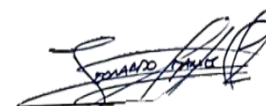
2024-06-27

Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero, M.Sc.
**DIRECTOR(A) DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-06-27

Ing. Leonardo Daniel Cabezas Andrade, M.Sc.
**ASESOR(A) DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-06-27

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico a mis amorosos padres Fausto y Lorena que siempre me han apoyado, y que con el pasar del tiempo me han incentivado constantemente a salir adelante. A mis hermanas por motivarme y aconsejarme siempre. A Petita por estar conmigo en esta etapa universitaria. Y a Jackson por enseñarme, apoyarme y estar siempre para mí ante cualquier dificultad.

Petty

A mis padres, Dilcia y Marcos, mis logros son suyos.

Merlyn

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a la Ing. Jennifer Orejuela quien hizo posible la finalización de este trabajo. Con sus conocimientos, guía y consejos se pudo desarrollar los distintos apartados de este Trabajo de Integración Curricular. Al Ing. Leonardo Cabezas por apoyarnos y guiarnos a lo largo del proyecto. Al PhD. Carlos Mestanza, por brindarnos su apoyo y conocimientos durante la realización de este trabajo. Y, por último, a todas las demás personas que han puesto su granito de arena para que todo salga bien.

Petty

A mis padres, hermanas y demás familiares, por su apoyo constante y motivación durante el desarrollo de esta investigación. A mis amigos más cercanos por brindarme su apoyo y compañía durante este camino. A la MSc. Jennifer Orejuela, por compartir su invaluable conocimiento y guía durante este proceso. Al MSc. Leonardo Cabezas, por su predisposición, guía y conocimiento compartido en el desarrollo de este trabajo. Al PhD. Carlos Mestanza, por brindarnos su colaboración y guía para la ejecución del presente trabajo. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo expreso mi más profunda gratitud por la oportunidad de vivir experiencias que forjaron mi formación académica y humana.

Merlyn

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivos	4
<i>1.2.1 Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2 Objetivo específicos</i>	<i>4</i>
1.3 Justificación	5
1.4 Hipótesis.....	6
<i>1.4.1 Hipótesis nula.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2 Hipótesis alterna.....</i>	<i>6</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Petróleo	7
2.2 Gravedad API.....	8
2.3 Afecciones a la biodiversidad por derrames de petróleo	8
2.4 Plan Nacional de Contingencia (PNC)	8

2.5	Residuos agrícolas	9
2.6	<i>Cocos nucifera</i>	9
2.7	Plátano <i>Dominico harton</i>	10
2.8	Barreras oleofílicas.....	11
2.9	Absorción y adsorción.....	12

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	13
3.1	Diseño y tipo de investigación	14
3.2	Enfoque de la investigación	14
3.3	Fase I: Análisis fisicoquímico de las fibras	14
3.3.1	<i>Obtención de la fibra de coco</i>	14
3.3.2	<i>Obtención de fibra del pseudotallo del plátano</i>	16
3.3.3	<i>Caracterización física</i>	19
3.3.3.1	<i>Determinación de peso, longitud y diámetro</i>	19
3.3.3.2	<i>Determinación de la humedad</i>	19
3.3.4	<i>Caracterización química</i>	19
3.3.4.1	<i>Determinación de Lignina Klason</i>	20
3.3.4.2	<i>Determinación de Celulosa</i>	21
3.3.4.3	<i>Determinación de Hemicelulosa</i>	21
3.4	Fase II: Análisis de la capacidad de adsorción de hidrocarburo por las fibras de coco y de pseudotallo de plátano	22
3.4.1	<i>Diseño de tratamientos</i>	22
3.4.2	<i>Aplicación de las fibras como adsorbente</i>	23
3.5	Fase III: Comparación de la eficacia de remoción de TPH en aguas	27
3.5.1	<i>Diseño de tratamientos</i>	27
3.5.2	<i>Caracterización del agua contaminada</i>	28
3.5.2.1	<i>pH y Temperatura</i>	28

3.5.2.2	<i>Conductividad eléctrica</i>	28
3.5.2.3	<i>Turbiedad</i>	29
3.5.2.4	<i>Hidrocarburos (TPH)</i>	29
3.5.2.5	<i>Determinación de la eficacia</i>	29
3.5.3	Aplicación de las fibras como absorbentes	30
3.5.4	VARIABLES EN ESTUDIO	31
3.5.5	Análisis estadístico	31

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	33
4.1.1	Resultados Fase I: Análisis fisicoquímico de las fibras	33
4.1.1.1	<i>Caracterización física</i>	33
4.1.1.2	<i>Caracterización química - lignina Klason</i>	34
4.1.1.3	<i>Caracterización química - celulosa</i>	35
4.1.1.4	<i>Caracterización química - hemicelulosa</i>	36
4.1.1.5	<i>Resumen de la caracterización química de las fibras</i>	37
4.1.2	Resultados Fase II: Análisis de la capacidad de adsorción de hidrocarburo por las fibras de coco y de pseudotallo de plátano	37
4.1.2.1	<i>Prueba dinámica</i>	37
4.1.2.2	<i>Prueba a corto plazo</i>	38
4.1.2.3	<i>Prueba a largo plazo</i>	39
4.1.3	Resultados de la fase III: Comparación de la eficacia de remoción de TPH en aguas	40
4.1.3.1	<i>Resultados generales de la eficacia de remoción de TPH en aguas</i>	40
4.1.3.2	<i>Pruebas de normalidad y homocedasticidad de las variables en estudio</i>	41
4.1.3.3	<i>Análisis Kruskal Wallis de las variables en estudio</i>	41
4.1.3.4	<i>Eficacia en remoción de TPH</i>	42
4.1.3.5	<i>Cambio de pH</i>	42

4.1.3.6	<i>Cambio de conductividad</i>	43
4.1.3.7	<i>Cambio de turbidez</i>	43
4.1.3.8	<i>Cambio de temperatura</i>	44
4.2	Discusión	45
4.2.1	<i>Análisis fisicoquímico de las fibras</i>	45
4.2.2	<i>Análisis de la capacidad de adsorción</i>	46
4.2.3	<i>Eficacia de remoción de TPH</i>	47
4.3	Comprobación de la hipótesis	48

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1	Conclusiones	49
5.2	Recomendaciones	50

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Categorización de Materiales con Capacidades de Absorción y Adsorción de Hidrocarburos.....	12
Tabla 3-1: Distribución de adsorbentes para la prueba dinámica	22
Tabla 3-2: Distribución de adsorbentes para las pruebas de corto y largo plazo	22
Tabla 3-3: Tratamientos en estudio.....	27
Tabla 3-4: Variables en estudio	31
Tabla 4-1: Caracterización física de las fibras	33
Tabla 4-2: Resultado de análisis de pesos para lignina.....	34
Tabla 4-3: Resultado de análisis de pesos para celulosa.....	35
Tabla 4-4: Resultado de análisis de pesos para hemicelulosa.....	36
Tabla 4-5: Porcentajes de la caracterización química de las fibras.....	37
Tabla 4-6: Resultados de la Prueba dinámica	37
Tabla 4-7: Prueba Kruskal Wallis de la prueba dinámica de adsorbancia de agua.....	38
Tabla 4-8: Separación de medias de la prueba dinámica de adsorbancia de agua	38
Tabla 4-9: Prueba de adsorbancia de TPH a corto plazo	38
Tabla 4-10: ANOVA de la prueba de adsorbancia a corto plazo.....	39
Tabla 4-11: Prueba de Tukey de la prueba de adsorbancia a corto plazo	39
Tabla 4-12: Prueba de adsorbancia a largo plazo	39
Tabla 4-13: ANOVA de la prueba de adsorbancia a largo plazo.....	40
Tabla 4-14: Prueba de Tukey de la prueba de adsorbancia a largo plazo	40
Tabla 4-15: Eficacia de remoción de TPH.....	41
Tabla 4-16: Pruebas de normalidad y homocedasticidad a los datos de las variables en estudio	41
Tabla 4-17: Resultados de las pruebas de Kruskal Wallis	41
Tabla 4-18: Prueba de separación de medias del cambio de pH.....	43
Tabla 4-19: Prueba de separación de medias del cambio de conductividad	43
Tabla 4-20: Prueba de separación de medias del cambio de turbidez.....	44
Tabla 4-21: Prueba de separación de medias del cambio de temperatura.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Procedimiento metodológico	13
Ilustración 3-2: Diagrama de flujo de la obtención de fibra de coco	15
Ilustración 3-3: Pseudotallo del plátano y limpieza tras su corte	16
Ilustración 3-4: Separación de calcetas y extracción de fibras.....	16
Ilustración 3-5: Extracción y obtención de fibra	17
Ilustración 3-6: Diagrama de flujo de la obtención de fibra del pseudotallo del plátano.....	18
Ilustración 4-1: Fibra de coco.....	33
Ilustración 4-2: Fibra del pseudotallo de plátano	34
Ilustración 4-3: Representación gráfica de la prueba de separación de medias de la eficacia de remoción de TPH.....	42

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Gravedad API	8
Ecuación 3-1: Porcentaje de humedad	19
Ecuación 3-2: Porcentaje de lignina.....	20
Ecuación 3-3: Porcentaje de celulosa.....	21
Ecuación 3-4: Porcentaje de hemicelulosa.....	21
Ecuación 3-5: Adsorbancia del agua.....	26
Ecuación 3-6: Adsorbancia del aceite _m	26
Ecuación 3-7: Adsorbancia del aceite _v	27
Ecuación 3-8: Porcentaje de eficacia	30

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE ENSAYO INIAP

ANEXO B: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

ANEXO C: REGISTRO DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA

RESUMEN

La provincia de Orellana ha enfrentado numerosos problemas en los últimos años debido al incumplimiento de las regulaciones ambientales, en promedio, se sufre un derrame cada tres días, la mayoría de los cuales son fugas en las tuberías y, con frecuencia, no se descubren a tiempo; por lo tanto, se planteó el objetivo de evaluar la eficacia de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y del pseudotallo de plátano (*Dominico harton*) como barreras naturales adsorbentes oleofílicas para la remoción de hidrocarburos totales de petróleo en agua. La metodología implementada fue de carácter exploratorio, experimental y explicativa, se utilizó un diseño bifactorial puro sin bloques, donde el primer factor fueron las fibras de coco y plátano en dos tipos de adsorbentes (II: fibras sueltas, III fibras contenidas en nylon) junto con dos tiempos de aplicación, 15 min y 24 h; también, se caracterizó la lignina, celulosa y hemicelulosa de las fibras, se determinó la capacidad de adsorción y su eficacia en la remoción de hidrocarburos totales de petróleo (TPH). Como resultado se obtuvo que el coco presentó mayor porcentaje de lignina (41,381) y celulosa (45,253). La fibra de plátano tipo III+24 h presentó mayor adsorbancia de TPH con 2,34 cm³/cm³ a diferencia de la fibra de coco tipo II+15 min la cual fue de 0,822 cm³/cm³. Además, la fibra de plátano tipo II+24h obtuvo mayor eficacia para la remoción de TPH con 98,29 por ciento, pero, consecuentemente, esta fibra aumentó el porcentaje de conductividad eléctrica en un 829,18 y la turbidez en un 289,75. Se concluyó que el alto contenido de lignina interfiere en la acción adsorbente de la celulosa, por esta razón la fibra de coco, con altos niveles de lignina, no presentó mejor capacidad de adsorbancia y de remoción de TPH presentes en agua frente al pseudotallo de plátano.

Palabras clave: <COCO (*Cocos nucifera*)>, <PLÁTANO (*Dominico harton*)>, <BARRERA OLEOFÍLICA>, <HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (TPH)>, <ADSORBANCIA>.

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.
0604686709



0942-DBRA-UPT-2024

SUMMARY / ABSTRACT

Orellana province has faced several problems in recent years due to non-compliance with environmental regulations, on average, a spill is suffered every three days, most of which are leaks in pipes and often are not discovered in time; therefore, the objective was to evaluate the effectiveness of coconut fiber (*Cocos nucifera*) and banana pseudostem (*Dominico harton*) as natural oleophilic adsorbent barriers for the removal of total petroleum hydrocarbons in water. The methodology implemented was exploratory, experimental, and explanatory, a pure bifactorial design without blocks was used, where the first factor was coconut and banana fibers in two types of adsorbents (II: loose fibers, III fibers contained in nylon) together with two application times, 15 min and 24 h; also, the lignin, cellulose and hemicellulose of the fibers were characterized, the adsorption capacity and their effectiveness in the removal of total petroleum hydrocarbons (TPH) were determined. As a result, the coconut presented a higher percentage of lignin (41.381) and cellulose (45.253) was obtained. Banana fiber type III+24 h presented higher TPH absorbance with 2.34 cm³/cm³ in contrast to coconut fiber type II+15 min, which was 0.822 cm³/cm³. In addition, type II+24h banana fiber obtained higher efficiency for TPH removal with 98.29 percent, but, consequently, this fiber increased the percentage of electrical conductivity by 829.18 and turbidity by 289.75. It was concluded that the high lignin content interferes in the adsorbent action of cellulose, for this reason the coconut fiber, with high levels of lignin, did not present better adsorption capacity and removal of TPH present in water compared to banana pseudostem.

Keywords: <COCOCO (*Cocos nucifera*)>, <PLATANUUM (*Dominico harton*)>, <OLEOPHILIC BARRIER>, <TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH)>, <ADSORBANCE>.



firmado electrónicamente por:
SILVIA LICETT RAMOS
IDROVO

Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.I 0603066960

INTRODUCCIÓN

Los derrames de crudo han sido una preocupación global desde hace algunas décadas. Existen más investigaciones sobre los efectos que estos producen en los océanos que en los cuerpos de agua dulce en zonas tropicales por lo que surge la necesidad de ampliar las investigaciones en esta área (Miranda y Restrepo, 2005 pág.1).

El petróleo es una sustancia líquida, negra y viscosa a temperatura ambiental. Este recurso se formó hace millones de años mediante la fosilización de plantas y animales (Vázquez, 2008, pág.2). Es una fuente de energía clave que se utiliza para diversas actividades, desde generar electricidad y combustible para los vehículos, hasta producir plásticos, medicamentos y otros productos derivados (López, 2002, pág.12). Cuando en su proceso de extracción se producen fallas técnicas, surgen alteraciones en el equilibrio ecológico de la zona intervenida. Siendo afectados los recursos de la zona que son el único sustento para la población indígena (Abanto y Taboada, 2018 pág.8).

En Ecuador la principal infraestructura de traslado de crudo se denomina Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) que abarca una distancia de 503 km de longitud que atraviesan el Ecuador conectando el oriente con el puerto Balao en la costa (Armas, 1994, pág.21). Sus tuberías se deterioran debido a la corrosión, condiciones climáticas, problemas de diseño y seguridad, lo que conlleva a impactos ambientales como la contaminación del recurso hídrico y entorno ecológico afectando a la salud pública y generando disputas colectivas (Gordillo, 2017, pág.9).

Las barreras oleofílicas surgen como una solución para controlar y minimizar los efectos de los derrames petroleros. Estas barreras repelen el agua y absorben los hidrocarburos, evitando así su dispersión y facilitando su posterior remoción (Mora y Ricaurte, 2020a pág.16). Así, ante los derrames de petróleo en cuerpos de agua naturales ubicados en regiones tropicales se usan barreras oleofílicas. Este tipo de barreras se dividen según la naturaleza del material en sintéticas y naturales. Las barreras sintéticas son costosas, no reutilizables y están hechas de polímeros naturales. Mientras que, las barreras de origen natural como los residuos agrícolas son más económicos y requieren menos procesos para su fabricación (Mora y Ricaurte, 2020b pág.20).

Con el propósito de minimizar el uso de polímeros termoplásticos en fuentes no renovables, surge la idea de emplear fibras de origen natural como una alternativa más sustentable (Hernández Vidal et al., 2018 pág.2). En este marco, para hacer más eficiente los procesos de contención y recolección se debe cambiar el ciclo de vida de la producción agrícola para aprovechar sus residuos industriales y contribuir a la disminución de la contaminación. Siendo este el caso del coco y

pseudotallo de plátano. Así, en Ecuador tratándose de la venta de plátanos secos se generó un volumen total de 1.797 toneladas resultando en aproximadamente un 95% de residuos vegetales, ya que la mayor parte de la fruta se utiliza para su venta y consumo (Guamingo y Loor, 2022 pág.78). En cuanto al cultivo de coco, en la última década se ha producido un promedio de 34.116 toneladas de esta fruta (Vilela, 2020, pág.9). De las cuales el 83% de las partes del coco se han considerado como residuo (Flores y Simaluisa, 2022 pág.4).

En este contexto, surge la oportunidad de estudiar los residuos del coco y el plátano, dos cultivos de gran importancia en Ecuador. Para la fabricación de barreras oleofílicas. Ambos contienen fibras en su estructura las cuales podrían implementarse como materia prima en estas barreras. Estos materiales presentan propiedades oleofílicas notables y su uso contribuiría a un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente en la lucha contra la contaminación causada por los derrames de petróleo. El presente estudio se enfocará en evaluar la eficacia de la fibra de coco y el pseudotallo del plátano como adsorbentes naturales en la fabricación de barreras oleofílicas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La industria petrolera desempeña un papel crucial en la economía de un país, siendo una fuente vital de ingresos y empleo. Sin embargo, es fundamental que estas actividades se lleven a cabo dentro de los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para evitar daños al medio ambiente. Las regulaciones ambientales establecen un marco normativo que busca prevenir y mitigar los impactos negativos de la industria petrolera en los ecosistemas. Estas normas incluyen directrices para la exploración, explotación y producción de petróleo, así como para el transporte y almacenamiento de hidrocarburos (Ministerio del Ambiente, 2010, pág.2).

La provincia de Orellana, ha experimentado una serie de desafíos relacionados con el incumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes en los últimos años. En promedio, se registra aproximadamente un derrame de petróleo cada tres días, la mayoría de los cuales se originan por rupturas en las tuberías y, con frecuencia, no se detectan a tiempo (Zavala, 2017, pág.17). A nivel nacional, entre los años 2015 y 2021 hubo casi 900 vertidos de petróleo (Rojas, 2022). Mientras que en el año 2022 hubo 1.400 vertidos y 3.000 fosas. De esta cifra sólo el 25% están remediados, el 43% como saneados y el resto en tratamiento (Codato et al., 2024 pág.16). Los derrames de petróleo ocurren un 28% por corrosión, un 26% por actos de sabotaje, un 17.8% debido a fallas mecánicas, un 14.5% sin datos de causa específica, un 11.8% originado por errores humanos y un 1.5% como consecuencia de desastres naturales (Vizueté et al., 2019 pág.2).

Estos problemas han tenido un impacto significativo en la región, manifestándose a través de la contaminación del entorno, la pérdida irreversible de biodiversidad, el deterioro de las fuentes de agua y la aculturación evidente de las comunidades indígenas locales (Orosco y Soria, 2008 pág.16). Las comunidades ubicadas en zonas de extracción de petróleo han manifestado su inquietud por los efectos contaminantes de esta actividad, evidenciándose impactos adversos en su salud y estilo de vida. En particular, los ríos situados en las áreas expuestas presentan niveles de contaminación que exceden los límites aceptables para el uso humano (San Sebastián et al., 2001 pág.1).

La contaminación del agua por hidrocarburos es un desafío ambiental importante en la provincia de Orellana, ya que afecta la calidad del agua y pone en peligro la salud de las comunidades. Para abordar este problema, se pueden utilizar materiales absorbentes oleofílicos y naturales, como las fibras de pseudotallo del plátano y del coco, que tienen la capacidad de absorber y retener los

hidrocarburos presentes en el agua contaminada. Estas fibras son altamente porosas y tienen propiedades hidrofóbicas, lo que les permite absorber selectivamente los hidrocarburos y dejar el agua limpia. Sin embargo, es necesario realizar estudios comparativos para determinar cuál de estas fibras es más efectiva en la remoción de hidrocarburos. ¿Cuál de las dos fibras presenta una mayor capacidad de absorción de TPH?

La eficacia de absorción de estas fibras será evaluada permitiendo la eliminación de contaminantes y la recuperación del agua. En caso de obtener resultados positivos, se podría proponer su utilización a nivel industrial o en zonas afectadas por derrames de petróleo u otras fuentes de contaminación similar. Para evaluar la eficacia de absorción de estas fibras, se llevarán a cabo pruebas en condiciones controladas. Se medirá la capacidad de absorción de los absorbentes naturales y se analizará la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en el agua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la eficacia de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y del pseudotallo de plátano (*Dominico harton*) como barreras naturales adsorbentes oleofílicas para la remoción de hidrocarburos totales de petróleo en agua.

1.2.2 Objetivo específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y fibra del pseudotallo de plátano (*Dominico harton*).
- Analizar la capacidad de adsorción de hidrocarburo de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y fibra del pseudotallo de plátano (*Dominico harton*) bajo la normativa ASTM F 726- 12.
- Comparar la eficacia de remoción de TPH en aguas entre la fibra de coco y del pseudotallo de plátano.

1.3 Justificación

Los derrames petroleros provocan la destrucción de recursos naturales, violación de los derechos indígenas, la baja productividad del suelo y la mortalidad (Becerra et al., 2013 pág.2). En niños de 0 a 14 años causa leucemia linfoblástica aguda. En varones adultos produce el cáncer gastrointestinal, de piel y genitourinarios. En mujeres adultas genera cáncer genitourinario, de mama y de piel (Coronel Vargas et al., 2020 pág.6). Y en el agua de los ríos estos vertidos cambian la estructura y función de las poblaciones microbianas (Xin et al., 2024 pág.2).

Las barreras adsorbentes empleadas para la limpieza de derrames requieren de mayor tiempo del esperado para la adsorción. Los materiales sueltos como plumas, aserrín y polipropileno son difíciles de controlar debido al viento. Los materiales recubiertos con malla o red se ven limitados por la resistencia de la red (Impact PR & Design Limited, Canterbury , 2012, pág.4). El alto coste de estas barreras ronda los 73 dólares por lo que las hace menos accesible para las empresas (ECUADOR , 2023) Dificultando el proceso de limpieza cuando se producen los derrames.

Para hacer frente a estos retos, se han puesto en marcha estrategias y equipos para controlar la dispersión de hidrocarburos, incluida la aplicación de barreras oleofílicas diseñadas para entornos acuáticos (Díaz et al., 2018 pág.2). Estas barreras oleofílicas presentan propiedades oleófilas e hidrófobas (Burbano y Martinez, 2020 pág.12). Se fabrican a partir de diversos materiales naturales fácilmente disponibles, en este caso el mesocarpio de coco y el pseudotallo de plátano. Estos materiales se seleccionan por su excepcional capacidad de adsorción, biodegradabilidad y bajo coste, lo que los hace idóneos para su uso en estrategias de remediación medioambiental (Chen et al., 2023 pág.2).

Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y del pseudotallo de plátano (*Dominico harton*). Como alternativa natural para implementar en la fabricación de barreras oleofílicas. Con el propósito de remover los TPH presentes en cuerpos de agua contaminados por derrames petroleros. Planteando así, una solución más viable, ecológica y sostenible al momento de iniciar los planes de limpieza y recolección. Incrementando de manera significativa la rapidez y eficacia de los mismos. Por esa razón las barreras contribuyen a que las empresas utilicen materiales reciclados. Evitando así, infringir el derecho de las personas, en especial de los pueblos ancestrales de las comunidades a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice el “Sumak Kawsay”. Según la Constitución del Ecuador de 2008, Título II Derechos, Capítulo segundo derechos del buen vivir y sección segunda Ambiente sano, artículo 14 (Ecuador , 2008, pág.13).

1.4 Hipótesis

Tras el análisis de la introducción, la problemática y su justificación, este estudio evalúa la eficacia de la fibra del coco y el pseudotallo del plátano para remover TPH que se encuentren en cuerpos de agua, para este fin se presentan las siguientes hipótesis:

1.4.1 Hipótesis nula

No se observan diferencias estadísticamente significativas en la eficacia de la remoción de TPH en agua entre la fibra de coco y fibra del pseudotallo del plátano.

1.4.2 Hipótesis alterna

Se observan diferencias estadísticamente significativas en la eficacia de la remoción de TPH en agua entre la fibra de coco y fibra del pseudotallo de plátano.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Petróleo

El término “petróleo” se originó en el griego antiguo, al igual la palabra “petrélaïou”, que se traduce como “aceite de roca” (Ortuño, 2010, pág.24). Es un fluido bituminoso natural compuesto por sustancias orgánica que se encuentra debajo de la superficie terrestre (Orosco y Soria, 2008 pág.21). Este se generó por acumulación de la materia orgánica de zooplancton y algas de periodos geológicos anteriores, en los fondos marinos y bajo capas de sedimentos, aquí las presiones elevadas y el aumento de la temperatura en el subsuelo formaron hidrocarburos en estados líquidos, gaseosos y con variados pesos moleculares (Sinche, 2016, pág.26).

La importancia del crudo radica en su importancia como fuente de energía, extendiéndose desde lo doméstico hasta la esfera global. Su fácil extracción y transporte lo distinguen como un recurso esencial directamente asociado al desarrollo de las sociedades industrializadas (Urdaneta, 2011, pág.9). El SOTE bombea tres tipos de crudo: 24,0° API para la exportación, 25,5° API para la refinería de Esmeraldas y 28,2° API para la refinería de La Libertad (EPPETROECUADOR, 2013, pág.82). Su disponibilidad y precio tienen un impacto significativo en la economía mundial y en la estabilidad geopolítica (Arboleda y Bravo, 2008 pág.19).

Inherente a dichas ventajas, el derrame de petróleo también es una fuente de contaminación ambiental (Montoya y Rubén, 2021 pág.7). Este se encuentra como hidrocarburo “ligero o no persistente” y es el que desaparece de manera rápida como la gasolina, y el hidrocarburo “persistente o pesado” es el que requiere de un proceso de contención y limpieza por ejemplo casi todos los tipos de crudo (Casado, 2013, pág.13). Una vez que este último llega a la fuente de agua su rapidez de esparcimiento se da por la cantidad de hidrocarburo, la fluidez y la viscosidad lo cual deja una mancha negra de 0,1 mm que para poder limpiar es necesario conocer su volumen (Cruz, 2017, pág.40).

Los TPH, o hidrocarburos totales de petróleo, son una combinación de numerosos compuestos presentes en el petróleo crudo. Estos compuestos están compuestos mayormente de hidrógeno y carbono, de ahí su denominación de "hidrocarburos". Los TPH representan una proporción significativa, que puede variar entre el 50% y el 98%, del petróleo crudo (Al-Dhabaan, 2019, pág.1).

2.2 Gravedad API

Creada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, API) (SCHLUMBERGER, 2023). Esta representa una medida para analizar la densidad del petróleo en comparación con la densidad del agua a temperaturas equivalentes. Como referencia, el agua tiene una densidad de 10 °API (Peralta et al., 2018). Se expresa en relación con la densidad del agua a 60°F (15.6°C), salvo que se especifique otra temperatura (Donoso, 2017, pág.17).

Ecuación 2-1: Gravedad API

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

Este método se basa en la relación entre la densidad de un líquido y la profundidad de inmersión de un objeto flotante llamado Hidrómetro API, que está graduado en unidades API. La lectura de la densidad API se hace mirando la escala del hidrómetro y la superficie del líquido. Se realiza a 60 °F o se ajusta a esta temperatura. Los grados API mayores a 10 indican una densidad menor al agua y que el líquido flotará. En esta escala, la densidad API aumenta con la ligereza del petróleo y disminuye con su mayor peso (Serrano, 2017, pág.21).

2.3 Afecciones a la biodiversidad por derrames de petróleo

Cuando el petróleo entra en contacto con los seres vivos produce toxicidad lo que puede ocasionar cáncer o mutaciones a los organismos expuestos causando déficit en la reproducción (ITOPF, 2011, pág.13). Una vez que este llega a la zona vegetal reduce e inhibe la vegetación y también afecta a las poblaciones microbianas del mismo (Velásquez, 2017, pág.153). Las comunidades indígenas campesinas se han visto afectados por la contaminación petrolera debido a la disminución de los peces que sirven de alimentación y los que al estar contaminados también les genera sarpullidos, anemia, malnutrición, afecciones a la piel, entre otras (San Sebastián et al., 2001 pág.376).

2.4 Plan Nacional de Contingencia (PNC)

El PNC es una guía que sirve para controlar la contaminación producida por derrames petroleros o derivados en el medio marino, en las costas o fluviales mejorando las operaciones de respuesta nacional (Públicas, 2015, pág.1). Este está compuesto por cuatro etapas, primero es la evaluación de los riesgos, segundo la política estratégica que se encarga de elaborar los pasos que se debe seguir,

tercero son los procesos operativos que se debe seguir y cuarto está el directorio de información (ITOPF, 2023, pág.3).

2.5 Residuos agrícolas

Los residuos de origen agrícola son generados por las actividades agrícolas, forestales o también ganadera que si no se le da un correcto tratamiento puede contaminar los cauces de los ríos (Macas, 2020, pág.18). En muchos países se hace quema a cielo abierto de los residuos agrícolas con el fin de deshacerse de ellos de una manera rápida y económica lo que hace que producto de esto le lleguen nutrientes al suelo, pero contribuyendo así a emisiones del 40% de dióxido de carbono, 32% de monóxido de carbono, 20% de material particulado (PM) y 50 % de carburos aromáticos a nivel global (Galán y Guevara, 2021 pág.14).

En Ecuador de acuerdo con el INEC en el año 2016 las áreas utilizadas para cultivos permanentes, transitorios, pastos cultivados, montes, bosques y otros representan un área de 12.385.973 hectáreas y los residuos sólidos generados rondaban el valor de 4.139.512 Tm/año dominando los residuos orgánicos con el 61,4% (Salgado, 2020, pág.15). Pero, en 2018 el país generó aproximadamente 2,2 millones de toneladas de residuos agroindustriales con características lignocelulósicas y almidón potencial para crear nuevos productos sostenibles y biotecnológicos (Aguilar et al., 2022 pág.6).

2.6 Cocos nucifera

El coco tiene su origen en Ganges o en Asia, su planta se conoce como cocotero el cual se ha extendido por todo el mundo y se cree que se ha distribuido así gracias al hombre (Andrade y Intriago, 2014 pág.4). Su interior se compone de una parte blanda y un líquido los cuales gracias a los procesos de fabricación han dado origen a una larga línea de productos provenientes del mismo como las grasas, aceites comestibles, esencias y confites entre muchos más (Loor, 2021, pág.16). En esta medida, el coco es de suma importancia ya que se pueden obtener gran cantidad de productos y subproductos provenientes de él (Piña, 2019, pág.114).

Debido a esto, la palma de coco está en el puesto 12 de la lista de especies de plantas más útiles para la sociedad (Granados y López, 2002 pág.39). Su estructura cuenta con un tronco inclinado que puede llegar a tener una altura de 10 a 20 metros y 0,5 metros de grosor, esta planta también está formada con ambos sexos (monoica). Crece en las zonas tropicales, su fruta es redondeada con dimensiones de 20 a 30 cm, pesa hasta 2,5 kg, se compone del exocarpio que es suave y externo,

el mesocarpio siendo esta la parte más grande que cuenta con fibras duras y el endocarpio que rodea a la semilla y es comúnmente llamado testa la cual protege la pulpa y el agua dulce del coco (L. Vaca-Cardenas et al., 2021 pág. 340).

Esta fibra se considera más dura, firme, corta, con resistencia mecánica y a la humedad en comparación con otras fibras vegetales (Rincón et al., 2016 pág.280). Entre sus características químicas están sus parámetros con unidad y valor: su potencial hidráulico 5 a 6,8 pH, conductividad eléctrica 2,15 mS/cm, nitrógeno total (N) 0,510 %, fósforo total (P_2O_5) 0,200 %, Potasio total (K_2O) 0,600 %, Calcio total (CaO) 1,400%, Magnesio total (MgO) 0,200%, Sodio total (NaO) 0,187%, Hierro total 0,206% (Cajas, 2011, pág.197).

Cuando dichas fibras no están maduras se pueden observar con un color pálido, pero al madurar se amarillenta debido a una capa de lignina que llega a sus paredes, están compuestas a su vez de hilos que van desde 150 a 350mm de longitud y su diámetro varía entre 0,1 a 1,5mm^{''7} (Cajas, 2011, pág.12). Mecánicamente las fibras de coco son más resistentes, pero menos flexible en comparación con otras fibras, pero una vez que son sometidas al secado mediante calor estas cambian volviéndose más frágiles.

La variedad de los tipos de coco se clasifican en tres: gigantes, estos son los más usados en la industria para la producción de sus productos derivados aunque su agua carece de sabor pero cuenta con una buena calidad de su carne; enanos, son pequeños y tienen su agua muy dulce y su carne de mala calidad, por tal razón son usados para la fabricación de bebidas embotelladas; por último están los híbridos, estos reúnen las buenas cualidades de los enanos y gigantes, por tal razón tienen el agua y la carne de buena calidad y sabor (Loor, 2021a, pág.9).

2.7 Plátano *Dominico harton*

El plátano pertenece a la familia Musácea y al género Musa y crece en zonas tropicales y solo se consume la pulpa generando así demasiado residuos orgánicos (Loor, 2021b, pág.5). En su segunda o tercera etapa de generación este se puede convertir en dominico o barraganete (Alvarez, 2018, pág.12).

Sus raíces superan 3 metros de longitud en suelos arenosos y en suelos pesados y arcillosos los 2 metros. Su racimo está formado por 10 gajos con más de 70 plátanos que crecen en 10 meses. Su tallo está formado por nudos cortos, puede producir hasta 42 hojas en su ciclo de vida las cuales

duran hasta 115 días. El pseudotallo del *Dominico harton* formado por fibras soporta parte de las hojas y el racimo (Arcila et al., 1999 pág.8).

Este es capaz de reservar amiláceas e hídricas (Collazos y Pinzón, 2022 pág.10). Sus fibras naturales tienen la ventaja de ser baratas, livianas, cuentan con capacidad de remoción, son biodegradables y poseen propiedades específicas (Montoya y Negrete, 2023 pág.20). Las fibras del pseudotallo están compuestas por celulosa, hemicelulosa, lignina y aromáticos, ceras, lípidos, cenizas y compuestos que son solubles en agua (Cifuentes y Cifuentes, 2019 pág.9).

La porción comestible, que es el fruto, representa únicamente el 12% del peso total de la planta, mientras que el resto está compuesto por materiales fibrosos y no fibrosos, como el raquis (tallo principal del racimo de plátano), el pseudotallo y las hojas (Elanthikkal et al., 2010 pág.1).

2.8 Barreras oleofílicas

Las barreras oleofílicas son las primeras que se disponen para contener los derrames de hidrocarburo en un medio líquido por medio del confinamiento del petróleo evitando así que el mismo se disperse, acorralándolo a una zona donde se lo pueda recuperar para su posterior tratamiento (González Franco, 2021, pág.8). Su material de fabricación puede incluir diversas fibras de origen vegetal o animal correspondientes a lo orgánico, por ejemplo: fibras de coco, de cabello, fibras de algodón o de lana. Cuando el derrame se da en las fuentes de agua, estas barreras se colocan cerca de la tierra para preservar los estuarios, zonas pantanosas o manglares (Rivera, 2015, pág.95).

Estas barreras contienen en su interior fibras sintéticas de polipropileno el cual es capaz de absorber hasta 17 veces la cantidad de su peso y están cubiertas con malla Raschel que es un tipo de punto por urdimbre que da como resultado un tejido calado similar al crochet de gran volumen y menos elasticidad (Flores, 2020), esta malla está hecha de polietileno resistente a la radiación solar la que se ajusta con una soga de poliéster para poder conectarla a otras barreras (IntecoAstur, 2023).

Los materiales absorbentes y adsorbentes de hidrocarburos se clasifican según su forma y tipo:

Tabla 2-1: Categorización de Materiales con Capacidades de Absorción y Adsorción de Hidrocarburos

Tipos	Materiales	Descripción
Tipo I	Planos	Son rollos, películas, hojas, mantas, tejidos, entre otros. Tienen una anchura y longitud mayor que el espesor, y son resistentes como para ser manipulados saturados o no saturados.
Tipo II	Sueltos o a granel	Se presentan en partículas, sin forma ni resistencia. Se pueden manipular con palas o equipos de dispersión. Pueden ser polvos acondicionados de musgo, lirio acuático, bagazo, entre otros.
Tipo III	Contenidos	Estos están contenidos mediante un tejido o red exterior que es permeable al hidrocarburo, pero cuenta con aberturas pequeñas que retienen el material absorbente dentro del textil o red. Pueden ser almohadas, cordones oleofílicos, booms o cordones.

Fuente: (Subsidiarios, 2013, pág.8).

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Estos materiales tienen la capacidad de absorción que es la capacidad de capturar y retener un volumen de fluido en los poros del material. Esto permite que los materiales absorbentes acumulen y retengan hidrocarburos a través de la acción capilar, osmótica o química, incorporándolos en su estructura (Silos, 2008, pág.223). Y pueden estar formados por una variedad de componentes, que incluyen materiales inorgánicos como vermiculita y vidrio volcánico, materiales sintéticos como fibra de polipropileno, y materiales orgánicos naturales como turba, pulpa de algodón y corteza de pino, entre otros (Organización Marítima Internacional, 2005, pág.108).

2.9 Absorción y adsorción

La absorción y la adsorción son procesos importantes para comprender el funcionamiento de los materiales empleados en la remediación de derrames de hidrocarburos (Díaz et al., 2018 págs.289-298). La adsorción se refiere al fenómeno donde los hidrocarburos se adhieren a la superficie del material adsorbente, mientras que la absorción implica la incorporación del líquido en el cuerpo del material sorbente, mezclándose con él y diluyéndose en su estructura interna. Es así que, mientras la absorción implica una inserción del líquido en el interior del material, la adsorción implica una adhesión del líquido a la superficie del material sin inserción interna (Quiñones, 2011, págs. 28-58).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

La metodología utilizada en este estudio consiste en un diseño experimental mediante la distribución bifactorial puro sin bloques con un enfoque cuantitativo. Para el análisis de la eficacia de adsorción de las fibras y para una mejor comprensión de los resultados, la investigación se dividió en tres fases (ilustración 3-1). La primera se centró en la caracterización fisicoquímica de la fibra de coco y del pseudotallo del plátano; los métodos aplicados fueron revisión bibliográfica y análisis en el laboratorio. La segunda fase consistió en el análisis de la capacidad de adsorción de hidrocarburo de las fibras considerando la normativa ASTM F-726-12. Por último, en la tercera fase se determinó la eficacia de las fibras como absorbentes de TPH por medio de la normativa ASTM F-726-12 modificada.

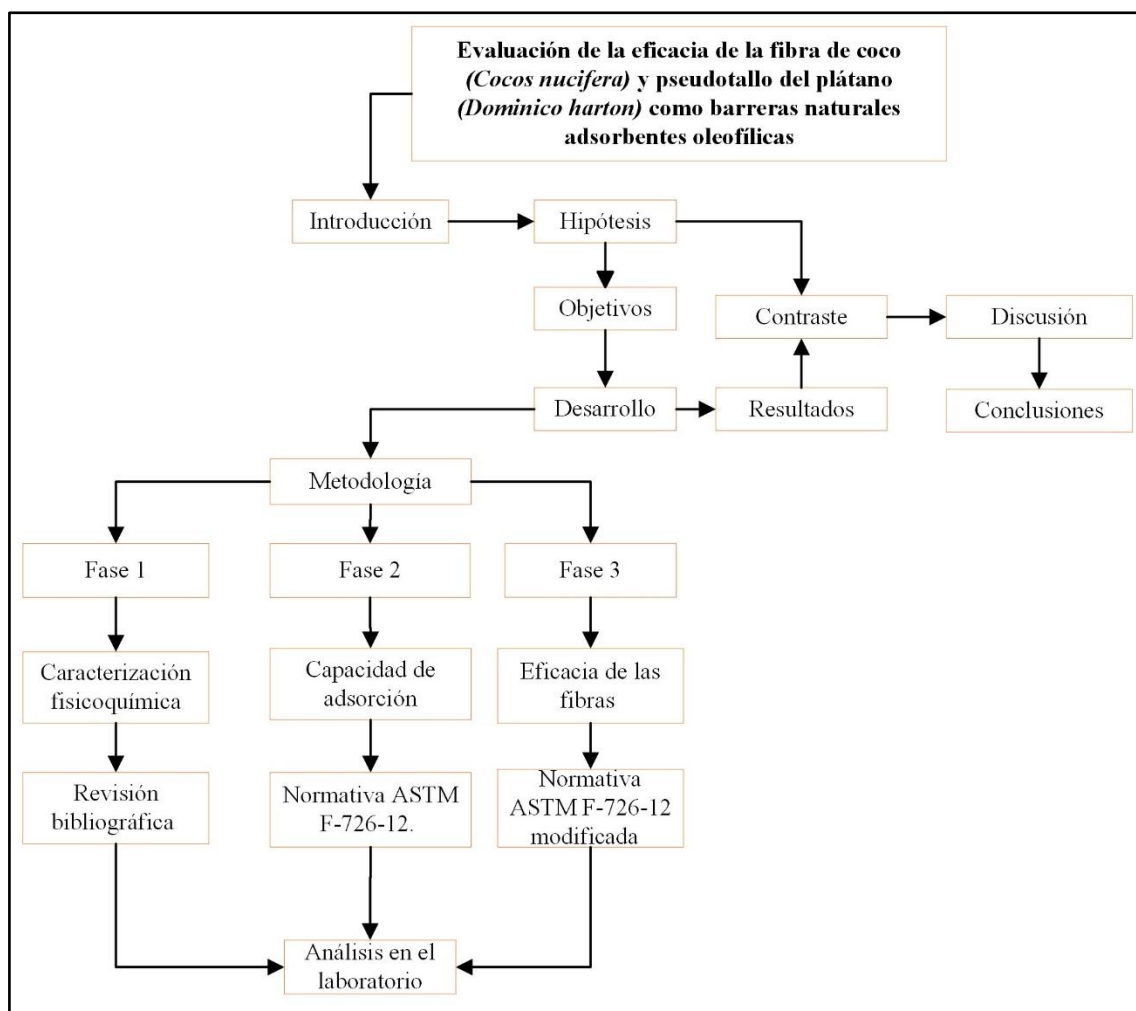


Ilustración 3-1: Procedimiento metodológico

Realizado por: Aguilar, P., Merino, M., 2024.

3.1 Diseño y tipo de investigación

El diseño de la investigación fue experimental mediante la distribución bifactorial puro sin bloques, donde el factor A fueron las fibras como tipos de adsorbentes tipo II y III, mientras que el factor B fue el tiempo de sumersión en el agua con el TPH en estudio (diésel). Se recurrió a la normativa internacional ASTM F-726-12 para trabajar sus unidades experimentales y de esta manera poder analizar la capacidad de absorción de ambas fibras dependiendo del tipo de adsorbente y de la cantidad de hidrocarburo adsorbida.

Esta investigación fue de carácter exploratorio, experimental y explicativo debido a que se trabajó con la correlación que hay entre los distintos tipos de adsorbentes aplicados en diferentes periodos de tiempo sobre la concentración de hidrocarburos posterior a su aplicación en el agua contaminada.

3.2 Enfoque de la investigación

Esta investigación contó con un enfoque cuantitativo debido a que los experimentos a realizar para la caracterización de las fibras de coco (*Cocos nucifera*) y de pseudotallo de plátano (*Dominico harton*) fueron para obtener cantidades exactas de los componentes lignina, celulosa y hemicelulosa. Además, las pruebas de absorbancia y remoción de hidrocarburos analizaron cantidades de la eficacia de ambas fibras para ser empleadas como barreras oleofílicas en el proceso de contención de derrames en cuerpos de agua mediante las variables concentración de TPH, temperatura, pH, conductividad eléctrica y turbidez.

3.3 Fase I: Análisis fisicoquímico de las fibras

3.3.1 Obtención de la fibra de coco

En esta primera etapa, se comenzó ablandando el mesocarpio empleando golpes con un martillo, después con un cuchillo se separaron las fibras del endocarpio el cual se desechó. El mesocarpio se sumergió completamente en agua durante 24 horas en un balde protegido de la luz y a temperatura ambiente, facilitando así el proceso de maceración.

Una vez que las fibras se desprendieron de los residuos del coco, se procedió al lavado para eliminar impurezas. La fibra resultante de los cocos recolectados fue lavada con agua y secada de manera natural mediante la exposición al sol durante 5 horas al día, por 5 días, con el fin de eliminar la mayor cantidad de humedad presente en la fibra. Una vez que las fibras de coco

estuvieron secas se separaron entre sí y se almacenaron en una funda de papel (L. Vaca-Cardenas et al., 2021 págs. 5-6).

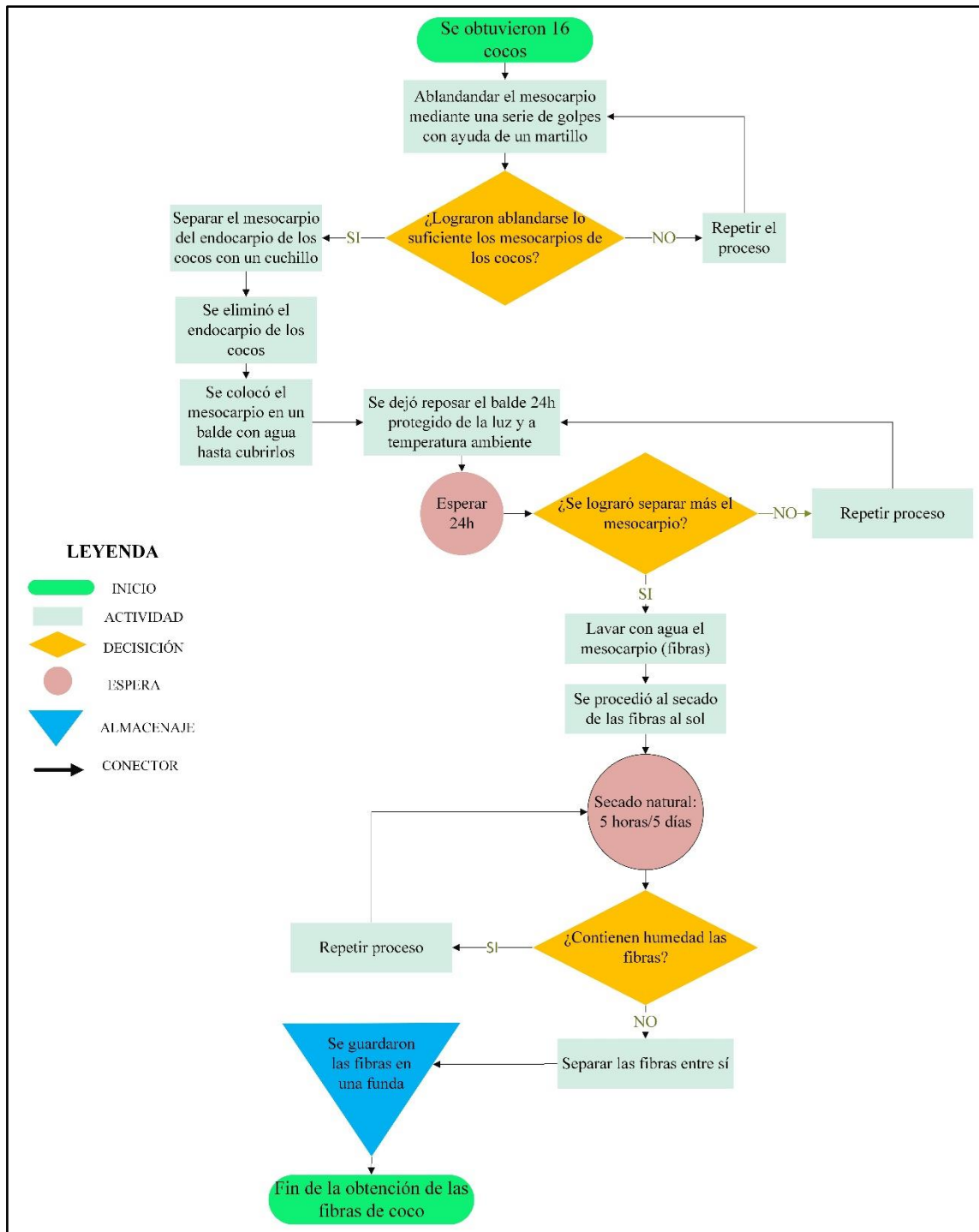


Ilustración 3-2: Diagrama de flujo de la obtención de fibra de coco

Realizado por: Aguilar P., Merlyn M., 2024.

3.3.2 Obtención de fibra del pseudotallo del plátano

La obtención de la fibra se basó en la metodología descrita por (Delgado y Vidal, 2021 pág.17).

Para extraer la fibra del pseudotallo del plátano, se realizó un corte diagonal (30°) a aproximadamente 10 cm del suelo. En la parte superior del pseudotallo, se hizo un corte recto obteniendo una longitud total aproximada de 1 m, según se observa en la Ilustración 3-3 (izq.). La muestra de pseudotallo se recolectó y se procedió a limpiarla en el lugar de extracción de la fibra, siendo cargada manualmente como se ve en la Ilustración 3-3 (der.).



Ilustración 3-3: Pseudotallo del plátano y limpieza tras su corte

Realizado por: Aguilar P., Merlyn M., 2024.

Inicialmente, se realizó un proceso de desfibrado del pseudotallo, que consiste en la separación de las vainas foliares (calcetas) del tronco como se muestra en la ilustración 3-4 (izq.). Luego, se realizó un lavado con agua de las calcetas y se colocaron sobre una superficie plana, para proceder a la extracción de la fibra presentado en la imagen 3-4 (der.).



Ilustración 3-4: Separación de calcetas y extracción de fibras

Realizado por: Aguilar P., Merlyn M., 2024.

En la ilustración 3-5 (izq.) se aprecia la extracción de fibra, realizada a través de un procedimiento de peinado manual utilizando un cepillo de metal, que consiste en el desfibrado de las calcetas con el fin de eliminar impurezas. Una vez extraída la fibra, se compactó de arriba abajo en la superficie plana para extraer la humedad presente en la fibra. Posteriormente, la fibra fue lavada con agua y se dejó secando la fibra bajo cubierta de plástico hasta alcanzar un estado de completa sequedad como se observa en la imagen 3-5 (der.).



Ilustración 3-5: Extracción y obtención de fibra

Realizado por: Aguilar P., Merlyn M., 2024.

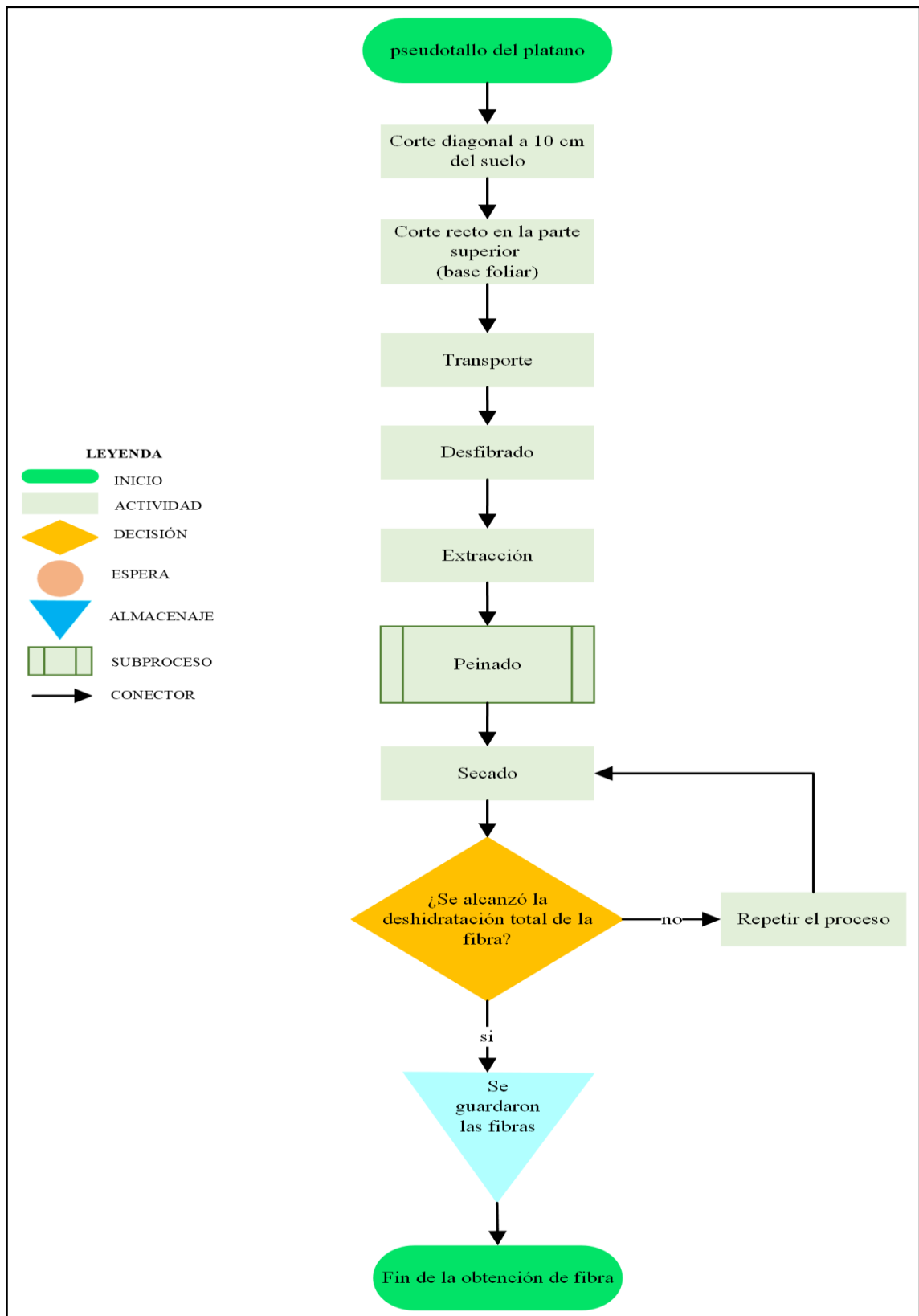


Ilustración 3-6: Diagrama de flujo de la obtención de fibra del pseudotallo del plátano

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

3.3.3 Caracterización física

3.3.3.1 Determinación de peso, longitud y diámetro

Las propiedades físicas, como la longitud, los diámetros y peso específico, fueron cuantificadas utilizando el método empírico y con ayuda de una regla metálica, un tornillo micrométrico y un microscopio estereoscópico de disección (M18SL) con cámara integrada. El peso se midió, mediante tres muestras de fibra de coco y tres muestras del pseudotallo del plátano y utilizando una balanza analítica BOECO Germany modelo BAS 31 plus, se procedió a medir (Danso, 2017,pág.4).

En el proceso de caracterización de la longitud y el diámetro, se empleó una regla metálica y un tornillo micrométrico de la marca HOLEX con una escala de 0-25 mm y precisión de 0.01 mm. Se realizaron las mediciones en un conjunto de cincuenta muestras de fibra de coco y de pseudotallo del plátano. Para el diámetro se tomó como referencia la región central de cada hilo de fibra y para la longitud se midió todo el largo de cada fibra. Posteriormente, se determinó un promedio a partir de los datos obtenidos durante las mediciones (San Andrés et al., 2023 pág.3).

3.3.3.2 Determinación de la humedad

El contenido de humedad de los dos tipos de fibras se determinó mediante el método gravimétrico. Se procedió primero a pesar una cápsula vacía, luego se agregaron 3 gramos de muestra a esta cápsula y se anotó el dato obtenido. La muestra se deshidrató en un horno a una temperatura de (105 +/- 3) °C durante un lapso de 24 horas. Después, la cápsula con la muestra fue transferida a un desecador y se registró su masa. Se realizaron dos repeticiones para validar los resultados obtenidos (Loja, 2017, págs.44-45). El contenido de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación 3-1:

Ecuación 3-1: Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra húmeda}} * 100$$

3.3.4 Caracterización química

Para la determinación de lignina, celulosa y hemicelulosa se remitió una muestra de 50 gramos de Coco (*Cocos nucifera*) y pseudotallo de plátano (*Dominico harton*), previamente secos a 105 ° C y triturados a una granulometría de 2 mm al Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Central de la

Amazonía, situada en el cantón Joya de los Sachas, Vía Sacha San Carlos, a una distancia de 3 kilómetros de la entrada a la Parker, en Orellana, Ecuador.

La caracterización química de la fibra de coco y pseudotallo del plátano se llevó mediante un análisis de laboratorio con el objetivo de determinar la concentración de lignina Klason, celulosa y hemicelulosa. Este análisis se basó en la metodología propuesta por (Barroso, 2010, págs.79-81):

3.3.4.1 *Determinación de Lignina Klason*

Se llevó a cabo un proceso de hidrólisis mediante el uso de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72%, facilitando la descomposición de polisacáridos en oligosacáridos. Posteriormente, se empleó ácido sulfúrico al 4% para llevar a cabo la conversión de los oligosacáridos en monosacáridos.

Conforme a la normativa TAPPI T-222 os-74, se determinó la lignina Klason para los dos tipos de fibra. Primero, se pesó 1 gramo de la muestra sin extracto, seguido se añadió 15 ml de ácido sulfúrico al 72% (H₂SO₄), manteniendo agitación constante. La muestra se expuso a un baño María con una temperatura de (20+/-1) °C durante aproximadamente 2 horas, hasta que presentó una tonalidad oscura. A continuación, el contenido se transfirió a un balón de destilación.

Se añadió al matraz 560 ml de agua destilada caliente para obtener una solución al 4% de ácido sulfúrico. Se procedió a llevar el refrigerante a ebullición continua durante 4 horas. Se decantó la muestra y se montó el sistema de filtración y se ejecutó el proceso de filtrado, previamente calculando el peso del filtro Gooch #3.

Posteriormente, se realizó el lavado del residuo sólido con agua destilada a elevada temperatura. Finalmente, se procedió al secado en un horno a una temperatura de 105+/-3 °C hasta alcanzar una masa constante. Este procedimiento se realizó por duplicado. La interpretación del resultado se realizó mediante la aplicación de la ecuación:

Ecuación 3-2: Porcentaje de lignina

$$\%Lignina = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$

3.3.4.2 *Determinación de Celulosa*

Siguiendo el método establecido por Kurschner y Hoffer, se llevó a cabo la determinación de la cantidad de celulosa de las dos fibras mediante el cálculo correspondiente.

Inicialmente, se pesó 1 g de muestra y se colocó en un matraz de 100 ml. A este se le añadió 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado. La mezcla se llevó a ebullición en baño María durante 30 minutos a reflujo. Tras pesar el filtro Gooch #3, se procedió a filtrar la solución a través de él. Posteriormente, el residuo sólido resultante se sometió a una digestión por segunda vez con 20 ml de etanol más 5 ml de ácido nítrico concentrado, manteniendo el proceso a reflujo durante 30 minutos.

Luego de decantar, el residuo sólido se lo sometió a digestión por tercera vez añadiendo 100 ml de agua destilada, prolongando el tiempo a 1 hora. Se realizó la filtración de la solución y se procedió a lavar con agua destilada caliente, después 100 ml de solución saturada de acetato de sodio y por último con 500 ml más de agua destilada caliente. Para concluir, se secó el residuo en una estufa a 105+/-3 °C, se enfrió en un desecador y se realizó la pesada correspondiente. El análisis del resultado se llevó a cabo mediante la utilización de la ecuación:

Ecuación 3-3: Porcentaje de celulosa

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso seco residuo (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$

3.3.4.3 *Determinación de hemicelulosa*

La determinación de la hemicelulosa se realizó siguiendo las pautas establecidas en la norma ASTM 1104-56. Se tomó 2 g de la muestra y se colocó en un matraz de 500 ml. Luego, se agregó con precisión 160 ml de agua destilada, 1 g de clorito sódico y 0,2 ml de ácido acético glacial, manteniendo la mezcla a una temperatura controlada entre 70-80 °C durante una hora. Este proceso se repitió al menos tres veces en un lapso de tres horas, hasta que la muestra adquirió un color blanco. Después de enfriarla a 10 °C, se filtró y enjuagó con 500 ml de agua destilada a baja temperatura. El residuo se secó en estufa a 105+/-3 °C durante 4 horas hasta obtener un peso constante. Se recomienda realizar el ensayo en duplicado.

Ecuación 3-4: Porcentaje de hemicelulosa

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extractos (g)}} * 100$$

$$\%Hemicelulosa = \%Holocelulosa - \%Celulosa$$

3.4 Fase II: Análisis de la capacidad de adsorción de hidrocarburo por las fibras de coco y de pseudotallo de plátano

3.4.1 Diseño de tratamientos

Para determinar la capacidad de adsorción de hidrocarburos de las fibras, estas se sometieron a pruebas dinámicas (solo agua), pruebas de corto y largo plazo (solo diésel). Para la prueba dinámica se analizaron las fibras por su tipo y se determinaron los valores de adsorción de acuerdo al componente del tipo de adsorbente, como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Distribución de adsorbentes para la prueba dinámica

Fibra	Tipo de adsorbente	T
Coco	II	Fibra
		Fibra
Coco	III	Nylon
		Fibra
Pseudotallo de plátano	II	Fibra
		Fibra
Pseudotallo de plátano	III	Nylon
		Fibra

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Mientras que, para las pruebas de corto y largo plazo de las fibras, se establecieron tratamientos de acuerdo a los factores de tipo de adsorbente y el tiempo de la prueba:

Tabla 3-2: Distribución de adsorbentes para las pruebas de corto y largo plazo

Tratamiento	Factor A	Factor B	Descripción
T1	Fibra de coco tipo II	15 min	T1: Fibra de coco tipo II+15 min
T2	Fibra de coco tipo III	15 min	T2: Fibra de coco tipo III+15 min
T3	Fibra de plátano tipo II	15 min	T3: Fibra de plátano tipo II+15 min
T4	Fibra de plátano tipo III	15 min	T4: Fibra de plátano tipo III+15 min
T5	Fibra de coco tipo II	24 h	T5: Fibra de coco tipo II+24 h
T6	Fibra de coco tipo III	24 h	T6: Fibra de coco tipo III+24 h
T7	Fibra de plátano tipo II	24 h	T7: Fibra de plátano tipo II+24 h
T8	Fibra de plátano tipo III	24 h	T8: Fibra de plátano tipo III+24 h

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

3.4.2 Aplicación de las fibras como adsorbente

Para emplear la fibra de coco y pseudotallo del plátano como material adsorbente de hidrocarburos, se procedió a replicar el procedimiento conforme a la metodología establecida en la normativa ASTM F-726-12, la cual es un método de prueba estándar para rendimiento de adsorbentes.

- En la implementación de dicho método, se consideraron dos categorías de partículas adsorbentes: Adsorbente tipo II: consistió en fibra suelta y homogénea.
- Adsorbente tipo III: se constituyó de fibra suelta recubierta con una malla que conformó una especie de almohadilla empleando tela de media nylon con una consistencia de 97% poliamida (nylon), 3% elastano (lycra). Además, se utilizó 1 metro de malla de polietileno, la cual se recortó en cuadrados de 20 cm de ancho por 20 cm de largo.

Cada tipo de adsorbente se sometió a tres pruebas según la norma ASTM F-726-12:

- **Acondicionamiento de la muestra**

Las muestras de prueba adsorbentes debían estar durante 24 h a 23 ± 4 °C y 40 % de humedad relativa. Las muestras se acondicionaron de manera expuesta, sin cubiertas que obstaculicen el proceso.

- **Prueba de degradación dinámica**

Como primer punto se procedió a realizar una prueba de degradación dinámica para determinar las propiedades oleofílicas de una muestra adsorbente en condiciones dinámicas a 23 ± 4 °C. A continuación, se detallan los pasos para poder realizarlo:

- Adsorbente tipo II

Se pesó 4g de una muestra de adsorbente. Luego se la colocó en un frasco (vaso de precipitado) que se llenó con 400 ml de agua y se selló, el frasco se montó sobre una mesa agitadora durante 15 min a una frecuencia de 150 ciclos por minuto y una amplitud de 2,5 cm, después se dejó reposar el frasco por 2 min. Si el 10 % o más del adsorbente se hundió, el adsorbente no pasó la prueba, posterior a esto, el contenido del frasco se cernió en una canasta de malla para recoger las

muestras de adsorbente, que luego se pesó una vez transcurridos 30 s. La relación de absorción de agua se calculó a partir de las mediciones de peso.

- Adsorbente tipo III

Tanto la media nylon como el material de relleno se probaron de forma independiente.

Se pesaron piezas de muestra del adsorbente, cuatro piezas cortadas con un borde afilado de forma cuadrada de 6 cm por 6 cm (para minimizar la compactación) y luego se colocaron en un frasco, el cual se llenó 400 ml con agua y se selló. Luego se colocó el recipiente sobre una mesa vibratoria con una frecuencia de 150 ciclos por minuto y una amplitud de 2,5 cm durante 15 min. Se dejó reposar el frasco durante 2 min. Los trozos que no flotaron en la superficie del agua no superaron la prueba. Posterior, el contenido del frasco se cernió en una canasta de malla para recoger las piezas de muestra del adsorbente, que luego de 30 s se pesaron. Se repitió el proceso con muestras de 4 g de adsorbente. La relación de absorción de agua se calculó a partir de las mediciones de peso.

• **Prueba corta de adsorción de aceite**

- Adsorbente tipo II

La capa de líquido de prueba (diésel) fue de 2,5 cm (150ml) si el espesor de la muestra de adsorbente esparcida sobre el área del vaso de precipitado era inferior a 2,5 cm. Si el adsorbente tenía un espesor superior a 2,5 cm, entonces se debió utilizar una capa líquida al menos tan espesa como la muestra de adsorbente.

La muestra de adsorbente fue de 4 g. Primero se pesó todo el adsorbente y se registró el valor. La celda de prueba debió ser un vaso de precipitado de 19 cm de diámetro y 10 cm de profundidad. Se llenó con una capa inicial de líquido de prueba hasta una profundidad al menos igual al espesor del adsorbente. El adsorbente se colocó en la malla de polietileno y se introdujeron en el vaso de precipitado y se dejó flotar libremente. Después de $15 \text{ min} \pm 20 \text{ s}$, se retiró manualmente el adsorbente en orientación vertical y se dejó escurrir durante $30 \pm 3 \text{ s}$. Se colocó un platillo de pesaje tarado debajo de la muestra de adsorbente para recoger cualquier goteo adicional y se colocó en el platillo. Se anotó el peso de la muestra. Todas las pruebas se triplicaron y se utilizó la media de las tres ejecuciones para los cálculos.

Se calculó la relación de absorción de aceite en base al peso, al igual que el volumen de aceite por muestra de adsorbente, si el valor de cualquier análisis (g/g) se desvió en más del 15% de la

media de los tres análisis, las muestras se rechazaron y la prueba se repitió con tres muestras nuevas.

- Adsorbente tipo III

Primero se pesó todo el adsorbente y se registró el valor. La celda de prueba se llenó con una capa inicial de líquido (diésel) de 2,5cm (150 ml) hasta una profundidad al menos igual al espesor del adsorbente. Después el adsorbente se colocó en la malla de polietileno y se introdujeron en el vaso de precipitado hasta flotar libremente.

Después de 15 min: 20 s, se retiró manualmente el adsorbente en orientación vertical y se dejó escurrir por 30 ± 3 s. Se colocó un platillo de pesaje tarado debajo de la muestra de adsorbente para recoger cualquier goteo que posteriormente se pasó al platillo. Se debió anotar el peso de la muestra y se hizo un triplicado de las muestras con tres ejecuciones para los cálculos.

Se calculó la relación de absorción de aceite en función del peso, al igual que el volumen de aceite por muestra de adsorbente estándar. Si el valor de cualquier análisis (g/g) se desviaba en más del 15% de la media de los tres análisis, las muestras se rechazaban y la prueba se repetirá con tres muestras nuevas.

• **Prueba de adsorción de aceite a largo plazo:**

- Adsorbente tipo II

La muestra de adsorbente será de 4 g. Se pesó la muestra de adsorbente y se anotó el valor. La celda de prueba se llenó con una capa inicial de líquido de prueba (150 ml de diésel). El adsorbente se colocó en la malla de polietileno y se introdujeron en la celda de prueba hasta flotar libremente. Después de 24 h \pm 30 min, se retiró el adsorbente con la malla de polietileno y se dejó escurrir durante 30 ± 3 s. Se colocó un plato de pesaje tarado debajo del adsorbente para recoger cualquier goteo adicional e inmediatamente se transfirió el adsorbente al plato.

Se determinó y registró el peso de la muestra. Todas las pruebas se triplicaron y se utilizó la media de las tres ejecuciones para los cálculos. Se calculó la relación de absorción de aceite en función del peso, al igual que el volumen de aceite por muestra de adsorbente estándar. Si el valor de cualquier análisis (g/g) se desviaba en más del 15 % de la media de los tres análisis, las muestras se rechazaban y la prueba se repetía con tres muestras nuevas.

- Adsorbente tipo III

Se pesó 4g de adsorbente y se registró su valor. La celda se llenó con 150 ml de una capa inicial de líquido de prueba hasta una profundidad al menos igual al del adsorbente. El adsorbente se colocó en una malla de polietileno y se introdujeron en el vaso de precipitado hasta flotar libremente. Después de 24 h: 30 min, se retiró manualmente el adsorbente en posición vertical y se dejó escurrir durante 30 ± 3 s. Se colocó un platillo de pesaje tarado debajo de la muestra de adsorbente para recoger cualquier goteo adicional y se transfirió inmediatamente el adsorbente al platillo.

Se determinó y registró el peso de la muestra. Todas las pruebas se realizaron por triplicado y la media de las tres series se utilizaron para los cálculos. Se calculó la relación de absorción de aceite en función del peso, al igual que el volumen de aceite por muestra de adsorbente estándar.

Si el valor de cualquier análisis (g/g) se desviaba en más de un 15 % de la media de las medias de los tres análisis, las muestras se rechazaban y la prueba se repetía con tres nuevas muestras.

- **Ecuaciones para los cálculos**

Degradación dinámica-. se calculará la adsorción del agua como una relación entre el agua adsorbida y el peso del adsorbente seco de la siguiente manera:

Ecuación 3-5: Adsorbancia del agua

$$\text{adsorbancia del agua} = \frac{S_{WT} - S_0}{S_0}$$

Donde:

S_0 : peso seco inicial del adsorbente.

S_{WT} : peso de las muestras de adsorbentes al final de la porción del agua corriente de la prueba de degradación dinámica.

Prueba corta/larga de absorción de aceite: cálculo de la adsorbancia del aceite como la relación entre el peso del aceite adsorbido y el peso del adsorbente seco.

Ecuación 3-6: Adsorbancia del aceite_m

$$\text{adsorbancia del aceite}_m = \frac{S_{ST} - S_0}{S_0}$$

Donde:

S_0 : peso seco inicial del adsorbente

S_{ST} : peso de las muestras de adsorbentes al final de las pruebas de aceite (prueba corta o prueba larga), y

Cálculo de la adsorbencia del aceite como la relación volumétrica del aceite adsorbido al volumen del adsorbente seco:

Ecuación 3-7: Adsorbancia del aceite_v

$$\text{adsorbancia del aceite}_v = \frac{S_{SV}}{S_{0V}}$$

Donde:

S_{SV} : aceite neto adsorbido (S_s) / densidad del aceite

S_{0V} : peso seco inicial del adsorbente (S_0) / densidad de almacenamiento del sorbente.

3.5 Fase III: Comparación de la eficacia de remoción de TPH en aguas

3.5.1 Diseño de tratamientos

Para dar cumplimiento a la comparación de la eficiencia de remoción de TPH en aguas, se utilizaron los mismos tratamientos para las pruebas de corto y largo plazo, pero a estos se agregó un tratamiento control T0, con los cuales se compararon los valores resultantes de los tipos de fibras y los distintos tiempos de las pruebas. Cada prueba se replicó tres veces dando un total de 24 datos. Mientras que, la totalidad de los tratamientos se usaron para medir las variables para determinar la eficacia (concentración de TPH, temperatura, pH, conductividad eléctrica y turbidez).

El uso del tratamiento testigo T0 fue relevante para comparar las condiciones del agua contaminada a lo largo del paso del tiempo con la aplicación de las fibras adsorbentes. Las características de los tratamientos se describen en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3: Tratamientos en estudio

Tratamiento	Factor A	Factor B	Descripción
T0	Sin fibras	24h	T0: Agua contaminada sin fibras+24h
T1	Fibra de coco tipo II	15 min	T1: Fibra de coco tipo II+15 min
T2	Fibra de coco tipo III	15 min	T2: Fibra de coco tipo III+15 min
T3	Fibra de plátano tipo II	15 min	T3: Fibra de plátano tipo II+15 min

T4	Fibra de plátano tipo III	15 min	T4: Fibra de plátano tipo III+15 min
T5	Fibra de coco tipo II	24 h	T5: Fibra de coco tipo II+24 h
T6	Fibra de coco tipo III	24 h	T6: Fibra de coco tipo III+24 h
T7	Fibra de plátano tipo II	24 h	T7: Fibra de plátano tipo II+24 h
T8	Fibra de plátano tipo III	24 h	T8: Fibra de plátano tipo III+24 h

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

3.5.2 *Caracterización del agua contaminada*

La caracterización previa del agua contaminada es esencial para obtener los valores iniciales de los siguientes parámetros del proceso experimental:

3.5.2.1 *pH y Temperatura*

La determinación del potencial hidrógeno (pH) se efectuó con un pHmetro OAKTON pH 2700, siguiendo un protocolo de calibración y medición estandarizado. Para calibrar el instrumento y verificar su precisión, se emplearon tres soluciones buffer predefinidas de pH 4, 7 y 10, junto con agua destilada. Luego, se añadió cuidadosamente una cantidad adecuada de muestra a un vaso de precipitados de vidrio. Se sumergieron el electrodo de pH y la sonda de temperatura en la muestra, esperando a que la lectura en la pantalla del pHmetro dejara de fluctuar y mostrara un valor constante durante al menos 30 segundos. En ese momento, se registró el valor resultante como el pH y temperatura de la muestra. Para mediciones en otras muestras, se enjuagaron cuidadosamente el electrodo y la sonda con agua destilada y se secaron meticulosamente. A continuación, se repitieron los pasos anteriores.

3.5.2.2 *Conductividad eléctrica*

La conductividad de las muestras se determinó utilizando un equipo multiparámetro BOECO Germany, modelo CT-676. Previo a la medición, se realizó la calibración del equipo con una solución patrón de conductividad conocida. Luego, se sumergieron los electrodos en la solución y se ajustaron los valores hasta obtener la lectura correcta. Posteriormente, se enjuagaron cuidadosamente los electrodos con agua destilada y se secaron meticulosamente para eliminar cualquier residuo que pudiera afectar la medición. Finalmente, se introdujo la muestra en el equipo y se registró el valor de conductividad correspondiente. Este proceso se repitió para determinar la conductividad de las demás muestras.

3.5.2.3 *Turbiedad*

Para determinar la turbidez en las muestras de agua, se utilizó un turbidímetro de la marca LaMotte, modelo 2020we/2020wi. Inicialmente, se llevó a cabo la calibración del equipo utilizando una celda con solución de calibración 0 NTU (Blanco 0), seguida por otra celda con solución de calibración 1 NTU (Blanco 1), utilizando 10 ml de solución en cada caso. Después de secar la celda suavemente con una toalla para permitir que el haz de luz pueda evaluar la turbidez del agua, se coloca la celda en el equipo. Una vez lista la celda, se puso en funcionamiento el equipo. Posteriormente, se preparó la muestra de agua, enjuagando la celda dos veces con agua destilada y luego homogeneizando la celda con el agua de muestra, llenándola hasta 10 ml. Este proceso se repitió para las demás muestras, asegurándose de mantener las condiciones de calibración previas en todo momento.

3.5.2.4 *Hidrocarburos (TPH)*

La determinación de la concentración de hidrocarburos totales en las muestras se llevó a cabo mediante mediciones directas utilizando el equipo Spectro Scientific, modelo TRANS-SPÁG. El procedimiento comenzó con la calibración del equipo, durante la cual se introdujo un blanco (agua destilada o solvente puro) en la celda de medición y se ajustó el equipo a cero. Posterior, se procedió a la calibración con estándar de concentración, donde se introdujo un rango de calibración de 0 a 200 ppm.

Una vez completa la calibración, se prepararon las muestras. Inicialmente, cada muestra se colocó en un vial de vidrio. A continuación, se añadieron 14 cm de solvente y se agitó la mezcla durante 2 minutos. Después, el vial se colocó en posición vertical y se extrajo la muestra con una jeringa para filtrarla con silica gel. Una vez filtrada, la muestra se colocó en una celda para realizar la lectura de TPH. Obtenido el resultado, se registró y se procedió a limpiar la celda con agua destilada, asegurándose de secarla cuidadosamente. Este proceso se repitió para realizar mediciones en otras muestras.

3.5.2.5 *Determinación de la eficacia*

Para determinar la eficacia de los tratamientos se realizaron comparaciones estadísticas entre los valores de las eficacias en cuanto a los factores de temperatura, conductividad eléctrica, pH, turbiedad e hidrocarburos. Para determinar la eficacia se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 3-8: Porcentaje de eficacia

$$\% \text{ Eficacia} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} * 100$$

3.5.3 Aplicación de las fibras como adsorbentes

Para emplear a las fibras de coco (*Cocos nucifera*) y pseudotallo de plátano (*Dominico harton*) como adsorbentes orgánicos de TPH en aguas contaminadas, se utilizó la metodología de la Norma ASTM F 726-12 con algunas modificaciones debido a que se basó en pruebas de laboratorio para comprender el funcionamiento de los adsorbentes eliminando aceites no emulsionados.

En el experimento se utilizaron dos tipos de adsorbentes:

- Adsorbente tipo II: consistió en fibra suelta y homogénea.
- Adsorbente tipo III: se constituyó de fibra suelta recubierta con una malla que conformó una especie de almohadilla empleando tela de media nylon con una consistencia de 97% poliamida (nylon), 3% elastano (lycra).

Además, se utilizó 1 m de la malla de polietileno, la cual se recortó en cuadrados de 20 cm de ancho por 20 cm de largo. Cada tipo de adsorbente fue sometido a dos pruebas de absorción, la prueba corta y la prueba larga con tres repeticiones cada una y un blanco por prueba:

- Prueba de absorción corta (15min).

Se colocó 400 ml de agua en un vaso de precipitado de 600 ml y se le añadió 600µl de diésel. Después se caracterizó la turbiedad, temperatura, conductividad eléctrica y TPH del agua. El adsorbente se colocó en la malla de polietileno y se introdujeron en el vaso de precipitado hasta flotar libremente en el agua. Se esperó 15 min y se retiró la malla con el adsorbente, paso seguido se dejó escurrir por 30 s el agua del adsorbente y se caracterizó nuevamente el agua. Se realizaron tres repeticiones con un blanco para cada tipo de adsorbente de cada fibra.

- Prueba de absorción larga (24h).

Se colocó 400 ml de agua en un vaso de precipitado de 600 ml y se añadió 600µl de diésel. Después se caracterizó la muestra inicial de agua. El adsorbente se colocó en la malla de

polietileno y se introdujeron en el vaso de precipitado hasta flotar libremente en el agua. Se esperó 24 h y se retiró la malla con el absorbente. Paso seguido se dejó escurrir por 30 s el agua del absorbente y se caracterizó de nuevo el agua. Se realizaron tres repeticiones con un blanco para cada tipo de absorbente de cada fibra. El absorbente sobrante se guardó en un frasco cerrado.

3.5.4 Variables en estudio

A continuación, en la Tabla 3-4 se enlistan los tipos de variables independientes y dependientes que se consideraron en la presente investigación.

Tabla 3-4: Variables en estudio

Tipo de variable	Denominación
Independiente	Fibra: coco, plátano
	Tipo de adsorbente: II, III
	Tiempo de pruebas de adsorbancia de TPH: 15m, 24 h
	Características físicas: humedad, largo, diámetro, peso
	Características químicas: lignina, celulosa, hemicelulosa
Dependiente	Capacidad de adsorbancia de agua
	Capacidad de adsorbancia de TPH
	Eficacia de remoción de TPH
	Cambio de pH
	Cambio de conductividad
	Cambio de turbidez
	Cambio de temperatura

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

3.5.5 Análisis estadístico

Se realizaron comparaciones estadísticas entre las pruebas y factores en estudio utilizando el programa estadístico InfoStat. Se determinó si los valores en estudio presentaban normalidad y homocedasticidad, esto se lo realiza para determinar si los valores tienen una distribución normal y si existe igualdad de varianza. La relevancia de estos supuestos radica en la exactitud de la prueba a ser aplicada. Si se presentaron valores p con $>0,05$ en ambos casos se aplicó la prueba paramétrica de Análisis de Varianza (ANOVA), y para valores inferiores al p valor se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Balzarini et al., 2008 págs. 80-119).

Seguido, si el p-valor de las pruebas presentó un valor $<0,05$ se procedió a realizar las respectivas pruebas de separación de medias, la prueba de Tukey para ANOVA y la prueba de a pares para Kruskal Wallis. Estas pruebas separaron los promedios de las fibras en estudio, formando distintos grupos de letras. En caso de que un promedio se encontrara en un solo grupo, es decir que presentase diferencias estadísticamente significativas, se lo podría considerar como el de mayor o menor resultado, por ende, la mejor o peor fibra (Balzarini et al., 2008 págs.80-119).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Resultados Fase I: Análisis fisicoquímico de las fibras

4.1.1.1 Caracterización física

Los resultados de la caracterización física se muestran en la siguiente Tabla 4-1, se observaron diferencias en sus propiedades: el contenido de humedad de la fibra de coco es inferior al del pseudotallo de plátano que debido a su estructura porosa facilita la absorción de agua. En términos de longitud, el pseudotallo del plátano es superior a la de coco. El diámetro de las fibras de coco es mayor, lo que puede afectar a su resistencia y elasticidad.

Tabla 4-1: Caracterización física de las fibras

Fibra	Humedad (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Peso (g)
Coco	1,976	12,034	0,368	2,793
Pseudotallo del plátano	2,133	19,064	0,240	2,687

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Con la finalidad de mejorar la visualización y comprensión de las características físicas de las fibras, se realizó capturas de imágenes con el microscopio estereoscópico de disección (M18SL) con cámara integrada de cada tipo de fibra como se muestran en las Ilustraciones 4-1 y 4-2.

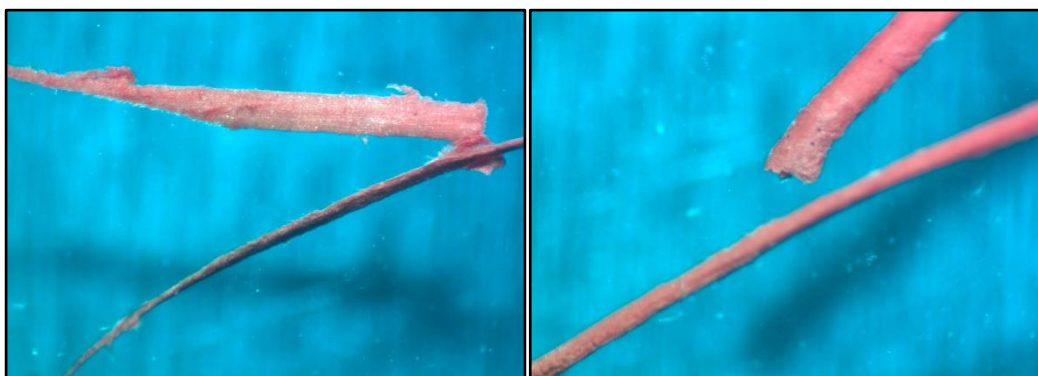


Ilustración 4-1: Fibra de coco

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

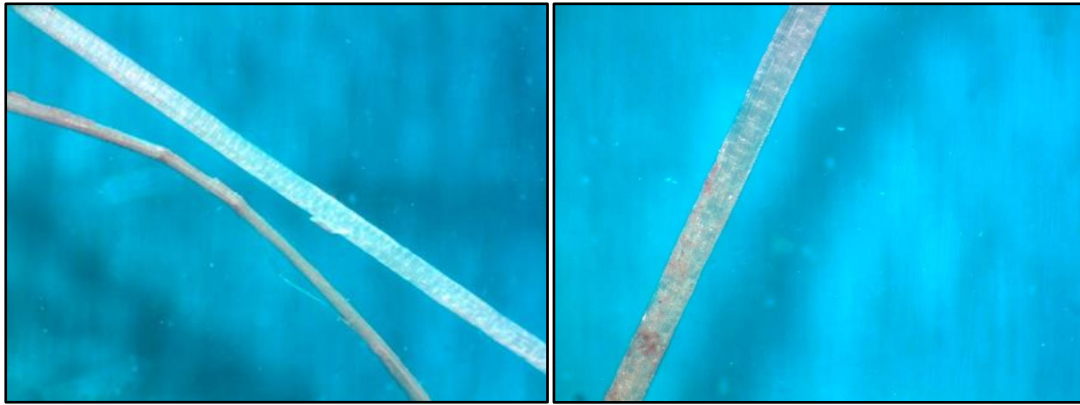


Ilustración 4-2: Fibra del pseudotallo de plátano

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.1.2 Caracterización química - lignina Klason

La obtención de lignina se llevó a cabo mediante los pesos obtenidos descritos en la Tabla 4-2. Las actividades de secado y molienda de las muestras ayudaron a reducir la humedad a niveles bastante bajos como para evitar que interfirieran con los siguientes análisis.

Tabla 4-2: Resultado de análisis de pesos para lignina

Fibra	Peso original libre de extracto(g)	Peso residuo seco (g)
Coco	1,0051	0,4159
Pseudotallo del plátano	1,00415	0,1554

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

A través de la aplicación de la fórmula para la determinación de lignina establecida en la técnica LCA-PO-016, llevada a cabo en el laboratorio del INIAP, se logró determinar el porcentaje de lignina correspondiente para la fibra de coco y pseudotallo de plátano. El contenido de lignina de las fibras fue del 15,472% y 41,381% para el pseudotallo de plátano y la fibra de coco, respectivamente.

- Porcentaje de lignina del coco

$$\%Lignina = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto (g)}} * 100$$

$$\%Lignina = \frac{0,4159g}{(1,0051 g)} * 100 = 41,381\%$$

- Porcentaje de lignina del pseudotallo de plátano

$$\%Lignina = \frac{0,1554 \text{ g}}{1,00415 \text{ g}} * 100 = 15,472\%$$

4.1.1.3 Caracterización química - celulosa

La obtención de celulosa se llevó a cabo mediante los valores presentados en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Resultado de análisis de pesos para celulosa

Fibra	Peso original libre de extracto(g)	Peso residuo seco (g)
Coco	1,00355	0,4551
Pseudotallo del plátano	1,00485	0,3913

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Así, mediante la aplicación de la fórmula empleada en la metodología de Kurschner y Hoffer para la determinación de celulosa realizada en los laboratorios del INIAP, se logró determinar los porcentajes de celulosa para las muestras de fibra de coco y pseudotallo de plátano. Las muestras de fibra de coco y pseudotallo de plátano evaluadas dieron como resultado un porcentaje de celulosa del 45,353% y 38,946%, respectivamente.

- Porcentaje de celulosa del coco

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto (g)}} * 100$$

$$\%Celulosa = \frac{0,4551 \text{ g}}{1,00355 \text{ g}} * 100 = 45,253 \%$$

- Porcentaje de celulosa del pseudotallo del plátano

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto (g)}} * 100$$

$$\%Celulosa = \frac{0,3913 \text{ g}}{1,00485 \text{ g}} * 100 = 38,946 \%$$

4.1.1.4 Caracterización química - hemicelulosa

En el proceso para la determinación de hemicelulosa se llevaron a cabo los siguientes valores presentados en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Resultado de análisis de pesos para hemicelulosa

Fibra de coco	Peso original libre de extracto (g)	Peso residuo seco (g)
Coco	1,00395	0,5494
Pseudotallo del plátano	1,0051	0,5337

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Para calcular la hemicelulosa de las muestras de fibra de coco y pseudotallo de plátano, se utilizó la siguiente expresión basada en la metodología de la norma: ASTM 1104-56, que se aplica en los laboratorios del INIAP. El análisis de laboratorio reveló que la hemicelulosa representaba el 9,466% y el 14,239% de las muestras de fibra de coco y pseudotallo de plátano, respectivamente.

- Porcentaje de hemicelulosa del coco

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extractos (g)}} * 100$$

$$\%Holocelulosa = \frac{0,5494 \text{ g}}{1,00395 \text{ g}} * 100 = 54,719 \%$$

$$\%Hemicelulosa = \%holocelulosa - \%Celulosa$$

$$\%Hemicelulosa = 54,719\% - 45,253\% = 9,466 \%$$

- Porcentaje de hemicelulosa del pseudotallo del plátano

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extractos (g)}} * 100$$

$$\%Holocelulosa = \frac{0,5337 \text{ g}}{1,0051 \text{ g}} * 100 = 53,185 \%$$

$$\%Hemicelulosa = \%Holocelulosa - \%Celulosa$$

$$\%Hemicelulosa = 53,185\% - 38,946\% = 14,239 \%$$

4.1.1.5 Resumen de la caracterización química de las fibras

De acuerdo con la Tabla 4-5, se determinó que las fibras de coco contienen un mayor porcentaje de lignina y celulosa con 41,381% y 45,253%, respectivamente; pero, un menor contenido de hemicelulosa con 9,466%.

Tabla 4-5: Porcentajes de la caracterización química de las fibras

Fibra	Lignina (%)	Celulosa(%)	Hemicelulosa(%)
Coco	41,381	45,253	9,466
Pseudotallo de plátano	15,472	38,946	14,239

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.2 Resultados Fase II: Análisis de la capacidad de adsorción de hidrocarburo por las fibras de coco y de pseudotallo de plátano

4.1.2.1 Prueba dinámica

La Tabla 4-6 muestra los valores de adsorbancia de las fibras con respecto al agua. Los principales resultados señalan que la fibra de pseudotallo de plátano tipo II presenta un valor de adsorbancia del agua de 3,956 g/g, mientras que la fibra de coco tipo III representó un 2,098 g/g.

Tabla 4-6: Resultados de la Prueba dinámica

Fibra	Tipo de adsorbente	Fibra/Nylon	Adsorbancia del agua (g/g)
Coco	II	Fibra	2,278
Coco	III	Fibra	2,098
		Nylon	3,572
Pseudotallo de plátano	II	Fibra	3,956
Pseudotallo de plátano	III	Fibra	3,850
		Nylon	3,813

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Comparación estadística de la prueba dinámica

Los datos presentaron una distribución normal ($p = 0,5225$), pero no homocedasticidad ($p = 0,0348$). Por lo que, al aplicar la prueba Kruskal Wallis (Tabla 4-7) a los factores de la prueba

dinámica de adsorbancia se encontró que los distintos tipos de adsorbentes presentaron diferencias estadísticamente significativas en su capacidad de adsorber agua.

Tabla 4-7: Prueba Kruskal Wallis de la prueba dinámica de adsorbancia de agua

Variable	N	H	P
Adsorbancia	3	13,21	0,0215

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

De acuerdo con la Tabla 4-8, se puede destacar que la fibra de coco III se encontró posicionado en el grupo A con la menor capacidad de adsorbancia de agua con 2,10 g/g. Mientras que, la fibra de plátano III y fibra de plátano II se encontraron en el grupo C con la mayor capacidad de adsorbancia de agua con 3,85 y 3,96 g/g.

Tabla 4-8: Separación de medias de la prueba dinámica de adsorbancia de agua

Tratamiento	Medias (g/g)	Grupo		
Fibra coco III	2,10	A		
Fibra coco II	2,28	A	B	
Nylon coco III	3,57	A	B	C
Nylon plátano III	3,81		B	C
Fibra plátano III	3,85			C
Fibra plátano II	3,96			C

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.2.2 Prueba a corto plazo

Resultados de la prueba a corto plazo, 15 minutos. Cálculo de la relación de adsorción del aceite haciendo alusión a la relación volumétrica del aceite adsorbido al volumen del adsorbente seco.

Tabla 4-9: Prueba de adsorbancia de TPH a corto plazo

Tratamiento	Fibra	Tipo de adsorbente	s_{SV} / s_{OV} (cm ³ /cm ³)
T1	Coco	II	0,822
T2	Coco	III	1,147
T3	Pseudotallo del plátano	II	1,179
T4	Pseudotallo del plátano	III	1,911

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Comparación estadística de la prueba a corto plazo

Los datos mostraron una distribución normal ($p = 0,5461$) y homocedasticidad ($p = 0,3949$). Por lo que, al aplicar el ANOVA (Tabla 4-10) se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas al tener un p-valor $<0,05$.

Tabla 4-10: ANOVA de la prueba de adsorbancia a corto plazo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	1,93	3	0,64	79,05	$<0,0001$
Error	0,07	8	0,01		
Total	2,00	11			

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

De acuerdo con la Tabla 4-11, entre los resultados más relevantes se puede destacar que T1: Fibra de coco II se encontró posicionado en el grupo A con la menor capacidad de adsorbancia de TPH con $0,82 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$; mientras que, T4: Fibra de plátano III se encontró en el grupo C con la mayor capacidad de adsorbancia de TPH con $1,19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Tabla 4-11: Prueba de Tukey de la prueba de adsorbancia a corto plazo

Tratamientos	Medias (cm^3/cm^3)	Grupo
T1	0,82	A
T2	1,11	B
T3	1,18	B
T4	1,91	C

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.2.3 Prueba a largo plazo

Resultados de la prueba a largo plazo, 24 horas. Cálculo de la relación de absorción de aceite en función del peso, al igual que el volumen de aceite por muestra de adsorbente.

Tabla 4-12: Prueba de adsorbancia a largo plazo

Tratamiento	Fibra	Tipo de adsorbente	$S_{SV}/S_{OV}(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$
T5	Coco	II	1,028
T6	Coco	III	1,542
T7	Pseudotallo del plátano	II	1,587
T8	Pseudotallo del plátano	III	2,344

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

Comparación estadística de la prueba a largo plazo

Los datos presentaron una distribución normal ($p = 0,6344$), pero no homocedasticidad ($p = 0,1308$). Por lo que, al aplicar el ANOVA (Tabla 4-13) se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas al tener un p -valor $<0,05$.

Tabla 4-13: ANOVA de la prueba de adsorbancia a largo plazo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	2,65	3	0,88	229,40	$<0,0001$
Error	0,03	8	3,8E-03		
Total	2,68	11			

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

De acuerdo con la Tabla 4-14, entre los resultados más relevantes se puede destacar que T5: Fibra de coco II se encontró posicionado en el grupo A con la menor capacidad de adsorbancia de TPH con $1,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$; mientras que, T8: Fibra de plátano III se encontró en el grupo C con la mayor capacidad de adsorbancia de TPH con $2,34 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Tabla 4-14: Prueba de Tukey de la prueba de adsorbancia a largo plazo

Tratamientos	Medias (cm^3/cm^3)	Grupo
T5	1,03	A
T6	1,54	B
T7	1,59	B
T8	2,34	C

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3 Resultados de la fase III: Comparación de la eficacia de remoción de TPH en aguas

4.1.3.1 Resultados generales de la eficacia de remoción de TPH en aguas

Según los resultados de las pruebas de remoción de TPH en aguas (Tabla 4-15), se encontró que, en conjunto, los tratamientos remueven alrededor del 93,75% de TPH. Teniendo que el mayor porcentaje de remoción lo presentaron las fibras en la prueba de largo plazo con el 97,42%. En cuanto al tipo de adsorbente, el mayor porcentaje de remoción se encontró en la fibra de coco tipo II con el 95,86% en promedio en las pruebas de corto y largo plazo; pero, la mayor eficacia encontrada la mostró la fibra de plátano tipo II en la prueba a largo plazo con el 98,29% de TPH removido del agua.

Tabla 4-15: Eficacia de remoción de TPH

Tipo de adsorbente	Eficacia de remoción de TPH (%)	
	Corto plazo (15 min)	Largo plazo (24 h)
Fibra de coco tipo II	94,49	97,22
Fibra de coco tipo III	87,21	97,26
Fibra de plátano tipo II	85,24	98,29
Fibra de plátano tipo III	93,41	96,90

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.2 Pruebas de normalidad y homocedasticidad de las variables en estudio

Las pruebas de normalidad presentaron valores $>0,05$ para remoción de TPH y conductividad, pero sus pruebas de homocedasticidad presentaron valores $<0,05$. Así como el resto de variables no presentaron normalidad ni homocedasticidad, por lo que se determinó aplicar la prueba no paramétrica Kruskal Wallis con su comparación de a pares para separación de medias (Tabla 4-16).

Tabla 4-16: Pruebas de normalidad y homocedasticidad a los datos de las variables en estudio

Variable	N	Normalidad	Homocedasticidad
Eficacia remoción TPH (%)	27	0,1209	0,0090
Cambio de pH (%)	27	$<0,0001$	0,0001
Cambio de conductividad (%)	27	0,4827	0,0034
Cambio de turbidez (%)	27	$<0,0001$	0,0042
Cambio de temperatura (%)	27	$<0,0001$	$<0,0001$

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.3 Análisis Kruskal Wallis de las variables en estudio

Los resultados muestran que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos estudiados en las variables eficacia remoción TPH, cambio de pH, conductividad, turbidez y temperatura al presentar los p-valor $<0,05$ (Tabla 4-17).

Tabla 4-17: Resultados de las pruebas de Kruskal Wallis

Variable	N	H	p-valor
Eficacia remoción TPH (%)	3	25,20	0,0014
Cambio de pH (%)	3	25,52	0,0012

Cambio de conductividad (%)	3	25,44	0,0013
Cambio de turbidez (%)	3	24,81	0,0016
Cambio de temperatura (%)	3	24,86	0,0011

Realizado por: Aguilar PÁG., Merino M., 2024.

4.1.3.4 Eficacia en remoción de TPH

De acuerdo con la Ilustración 4-3, de la eficacia en remoción de TPH, se encontró que el tratamiento T7 fue el que presentó una mayor eficacia con el 98,29% de TPH removido al mostrarse en el grupo D, mientras que, el T0, al no contener ninguna fibra mantuvo el mismo contenido de TPH, dando un 0% de eficacia. El tratamiento con menor remoción de TPH fue el T3 con el 85,24% en el grupo A. Los demás tratamientos no tienen relevancia estadística debido a que tienen promedios similares entre sí (compartición de grupos).

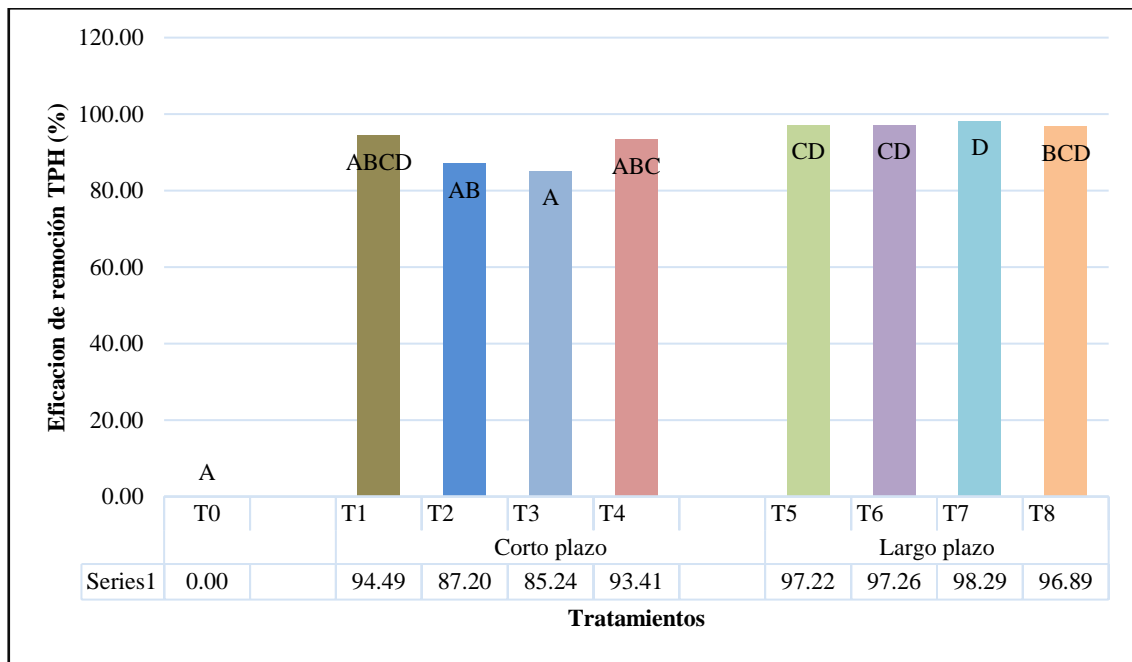


Ilustración 4-3: Representación gráfica de la prueba de separación de medias de la eficacia de remoción de TPH

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.5 Cambio de pH

De acuerdo con la tabla 4-18, del cambio de pH, se encontró que el tratamiento T8 disminuyó el pH en un 14,46% en el grupo D, mientras que, los tratamientos T1 y T3 aumentaron en similar medida el pH en valores de 3,15% y 3,04%, respectivamente, por estar en el grupo A. Los demás

tratamientos no tienen relevancia estadística debido a que tienen promedios similares entre sí (compartición de grupos).

Tabla 4-18: Prueba de separación de medias del cambio de pH

Tratamiento	Medias	Grupos			
T1	-3,15	A			
T2	-3,04	A			
T3	-2,18		B		
T5	-1,57		B	C	
T0	0		B	C	D
T4	6,85		B	C	D
T6	2,21		B	C	D
T7	12,55			C	D
T8	14,46				D

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.6 Cambio de conductividad

De acuerdo con la Tabla 4-19, del cambio de conductividad, se encontró que el tratamiento T2 disminuyó la conductividad en un 0,74% lo que lo ubica en el grupo D, mientras que, el tratamiento T8 aumentó la conductividad en un 937% ubicándolo en el grupo A. Los demás tratamientos no tienen relevancia estadística debido a que tienen promedios similares entre sí (compartición de grupos).

Tabla 4-19: Prueba de separación de medias del cambio de conductividad

Tratamiento	Medias	Grupos			
T8	-937,00	A			
T3	-601,55		B		
T7	-829,18		B		
T4	-458,97		B	C	
T6	-183,49		B	C	D
T5	-174,33		B	C	D
T0	-0,30			C	D
T1	-0,27			C	D
T2	0,74				D

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.7 Cambio de turbidez

De acuerdo con la Tabla 4-20, del cambio de turbidez, se encontró que el tratamiento T2 disminuyó la turbidez en un 37,44% lo que lo ubicó en el grupo C, mientras que, los tratamientos

T4, T3 y T0 aumentaron la turbidez en 527,9, 488,95 y 462,03%, respectivamente, lo que los ubicó en el grupo A. Los demás tratamientos no tienen relevancia estadística debido a que tienen promedios similares entre sí (compartición de grupos).

Tabla 4-20: Prueba de separación de medias del cambio de turbidez

Tratamiento	Media	Grupo	
T0	-462,03	A	
T3	-488,95	A	
T4	-527,90	A	
T6	-318,37		B
T5	-310,06		B C
T7	-289,75		B C
T1	10,31		B C
T8	-202,19		B C
T2	37,44		C

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.1.3.8 Cambio de temperatura

De acuerdo con la Tabla 4-21, del cambio de temperatura, se encontró que el tratamiento T8 disminuyó la temperatura en un 4,61% lo que lo ubico en el grupo C, mientras que, los tratamientos T3, T1 y T0 aumentaron la temperatura en 1,53% cada uno, lo que los ubico en el grupo A. Los demás tratamientos no tienen relevancia estadística debido a que tienen promedios similares entre sí (compartición de grupos).

Tabla 4-21: Prueba de separación de medias del cambio de temperatura

Tratamiento	Media	Grupo	
T0	-1,53	A	
T1	-1,53	A	
T3	-1,53	A	
T2	-1,15		B
T4	-0,38		B C
T7	3,23		B C
T5	3,60		B C
T6	3,25		B C
T8	4,61		C

Realizado por: Aguilar P., Merino M., 2024.

4.2 Discusión

4.2.1 *Análisis fisicoquímico de las fibras*

Un componente esencial presente en la pared celular vegetal, ha captado la atención de la comunidad científica debido a su prometedor potencial como sumidero de contaminantes orgánicos (Sellaoui et al., 2023 pág.1). De acuerdo a los resultados obtenidos, la fibra de coco presentó un mayor contenido de lignina con 41,381% en comparación con la fibra del pseudotallo de plátano que registró 15,472%. La lignina exhibe una estructura abundante en anillos aromáticos, lo que le confiere una notable hidrofobicidad (Sellaoui et al., 2023 pág.1). Esta propiedad la convierte en un atractivo receptor para contaminantes orgánicos, los cuales también poseen características hidrofóbicas. Se presume que debido a esto la fibra de coco absorbió menos cantidad de agua en la prueba dinámica. La interacción entre la lignina y las moléculas del contaminante se sustenta en fuerzas de Van der Waals y enlaces pi-pi, generando un complejo estable que facilita la retención de estos (Vasile y Baican , 2023 pág.17). Se considera que el alto contenido de lignina en la fibra de coco contribuye a su mayor capacidad para adsorber hidrocarburos.

La celulosa por su naturaleza hidrofóbica confiere propiedades significativas para la adsorción de diversas sustancias, mostrando una mayor afinidad por los hidrocarburos en comparación con el agua. Se presumía que la fibra de coco representaría un nivel de adsorción de hidrocarburos superior al del pseudotallo de plátano (Sayyed et al., 2021 pág.1). Con base en los datos obtenidos, la fibra de coco mostró un mayor porcentaje de celulosa de 45,253% frente al 38,946% de la fibra del pseudotallo de plátano. Se asume que el mayor contenido de celulosa en la fibra de coco influye en su mayor capacidad de adsorción. Por otro lado, la fibra del pseudotallo de plátano registró un mayor contenido de hemicelulosa con 14,239% en comparación con el 9,466% de la fibra de coco. La hemicelulosa por su estructura química caracterizada por una variedad de azúcares con grupos funcionales como hidroxilos y carboxilos, le confiere propiedades únicas que la convierten en un material óptimo para la retención de estos contaminantes. Se considera que el alto contenido de hemicelulosa en la fibra del pseudotallo de plátano podría conferirle una mayor capacidad de hinchamiento y absorción de líquidos (Roldán et al., 2007 pág.3).

La fibra de coco presentó un mayor contenido de lignina (41,381%) y celulosa (45,353%) en comparación con la fibra del pseudotallo de plátano. Estos componentes estructurales confieren rigidez, resistencia y capacidad de adsorción a las fibras vegetales. Consecuentemente, en las pruebas de adsorción de hidrocarburos, la fibra de coco tipo II demostró una menor capacidad de adsorción (0,822 cm³/cm³ a corto plazo y 1,028 cm³/cm³ a largo plazo) en comparación con las fibras del pseudotallo de plátano tipo II y III.

Por otro lado, la fibra del pseudotallo de plátano tipo III, a pesar de tener un menor contenido de lignina y celulosa, presentó un mayor porcentaje de hemicelulosa (14,239%). Se presume que este alto contenido de hemicelulosa, junto con su estructura fibrosa, contribuyó a su alta capacidad de adsorción de hidrocarburos, siendo la más elevada tanto en la prueba a corto plazo (1,911 cm³/cm³) como en la prueba a largo plazo (2,344 cm³/cm³). Aunque los niveles de hemicelulosa presentes en ambas fibras fueran relativamente bajas, su presencia ayuda a maximizar la adsorción de TPH realizado por los tratamientos en estudio. En términos de interacciones hidrofóbicas, la estructura porosa de la hemicelulosa crea un microambiente hidrofóbico que facilita la interacción con las moléculas de TPH, las cuales poseen naturaleza apolar (Roldán et al., 2007 pág.3).

Además, la carga superficial negativa de la hemicelulosa añade un elemento significativo al proceso de adsorción atrayendo cationes presentes en los TPH e incrementando así la capacidad de adsorción de la hemicelulosa.

Esta correlación entre las características químicas y la capacidad de adsorción se ve reflejada en los resultados de la eficacia de remoción de TPH en aguas contaminadas. La fibra del pseudotallo de plátano tipo II, que presentó la mayor eficacia de remoción de TPH con un 98,29% a largo plazo. Al igual demostró una alta capacidad de adsorción de hidrocarburos en las pruebas de adsorbancia, pero como adsorbente tipo III.

4.2.2 Análisis de la capacidad de adsorción

La fibra de pseudotallo de plátano tipo II presenta un mayor valor de capacidad de adsorbancia de agua con 3,956 g/g. Este tipo de material adsorbente también presenta una mayor capacidad de adsorbancia del TPH diésel a corto plazo con 1,911 cm³/cm³, pero fue superado por el material de la misma fibra tipo III, presentando un valor de 2,344 cm³/cm³ a largo plazo. Se evidencia que el paso del tiempo aumenta la capacidad de adsorbancia de las fibras, para el caso del pseudotallo de plátano tipo III aumentó un 18,47%.

Un estudio previo realizado en fibras de retama española menciona una capacidad de adsorbancia de 0,2 g/g (Tursi et al., 2020 pág.3), otro en corcho hidrofóbico era solo de 0,08 g/g (Rodríguez et al., 2020 pág.7). Comparado con este último estudio, los resultados obtenidos se contemplan deficientes, la adición de dichos compuestos se los realiza para la eliminación de cera, lignina y hemicelulosa, por lo que se considera a la celulosa como el principal compuesto favorable para mejorar las capacidades de adsorbancia de las fibras.

4.2.3 Eficacia de remoción de TPH

Finalmente, en cuanto a la eficacia de remoción de hidrocarburos en aguas contaminadas, el tratamiento T7 de fibra del pseudotallo de plátano tipo II mostró el mayor porcentaje de remoción con 98,29% en la prueba a largo plazo de 24 horas. Además, este tratamiento disminuye ligeramente el pH en un 6,85%, aumenta la conductividad eléctrica en 829,18%, la turbidez en un 289,75% y disminuyó la temperatura un 3,23%. Se considera que esta alta eficacia de remoción se debe a la sinergia de sus propiedades estructurales y químicas, que favorecen la adsorción, la retención de los hidrocarburos presentes en el agua y, aumentaron drásticamente la conductividad eléctrica, además de enturbiar el agua. Basado en los resultados obtenidos, se puede establecer una correlación entre las características químicas de las fibras estudiadas, su capacidad de adsorción de hidrocarburos y su eficacia en la remoción de TPH en aguas contaminadas.

Un estudio realizado en biocarbón derivado de bagazo de caña de azúcar con persulfatos activados por Fe cerivalente a nanoescala (nZVI) alcanzó una eficacia de remoción del 91,56 % (Zhang et al., 2022 pág.14), mientras que, un estudio realizado en aislados del alga *Chlorella vulgaris* presentó una eficiencia de remediación del 98,63% de los hidrocarburos de petróleo presentes en agua en 14 días (Das y Deka, 2019 pág.10). Por su parte, el estudio en corcho mostró una remoción del 41,2% después de un mes (Rodríguez et al., 2020 pág.1) las fibras de retama española alcanzaron niveles de hasta el 69,1% (Tursi et al., 2020 pág.12), mientras que las fibras de *Calotropis procera* presentaron un 90% de remoción después de 24 h (Anjos et al., 2020 pág.14). Estos estudios evidencian la variedad de eficacias de remoción de distintas fibras y compuestos de origen biológico, demostrando sus buenas capacidades para trabajar con TPH.

A pesar de que la fibra de coco presenta una mayor cantidad de celulosa, estuvo por debajo en la eficacia de remoción de TPH y en su capacidad de adsorbancia. Considerando lo mencionado anteriormente, sobre la relevancia de la celulosa para estos procesos y no destacando a la lignina como un gran participante, se asume que el alto contenido de lignina interfirió en los procesos de adsorción y remoción de TPH. Por lo que, el pseudotallo de plátano, al tener un menor porcentaje de lignina y celulosa en comparación con el coco, este presentó valores más altos de capacidad de adsorbancia y eficacia en la remoción de diésel. Por lo tanto, se presumen que existe una relación directa entre las características químicas de las fibras con la capacidad de adsorción de hidrocarburos y su eficacia en la remoción de TPH en aguas contaminadas. Lo que respalda la importancia de considerar estas propiedades en la selección de materiales adsorbentes para la descontaminación de aguas.

Con los resultados obtenidos se espera que se puedan aprovechar los residuos generados por la siembra de plátano (*Dominico harton*) empleando las fibras de sus pseudotallos en creación de barreras oleofílicas que no contengan más químicos nocivos para el medio ambiente. Incentivando a las empresas en la selección de materiales de origen biológico para la remediación los derrames de hidrocarburos que llegan a los cuerpos de agua minimizando el daño a los ecosistemas frágiles recuperando el estado del agua, un recurso vital para los pobladores, la flora y fauna. Así como abrir nuevas puertas a la realización de nuevas investigaciones sobre otro tipo de fibras provenientes de desechos de cultivos provenientes del territorio amazónico que sean más eficaces al momento de remover hidrocarburos y adsorber hidrocarburos las aguas.

4.3 Comprobación de la hipótesis

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. De acuerdo al resultado encontrado en la Tabla 4-17 se determinó que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados al presentar un p-valor de 0,0014 ($<0,05$). Mientras que, la Ilustración 4-3 mostró que el tratamiento T7: Fibra de plátano tipo II + 24 h, tuvo la mayor eficacia con el 98,28% de los TPH removidos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La fibra de coco tuvo las características físicas de 1,976% de humedad, 12,034 cm de largo, 0,368 mm de diámetro y 2,793 g de peso; mientras que, el pseudotallo de plátano tuvo un 2,133% de humedad, 19,064 cm de largo, 0,240 mm de diámetro y 2,687 g de peso. En cuanto a las características químicas, el coco tuvo un 41,381% de lignina, 45,253% de celulosa y 9,446% de hemicelulosa; por su parte, el pseudotallo de plátano tuvo 15,472% de lignina, 38,946% de celulosa y 14,239% de hemicelulosa. Considerándose la celulosa como una característica química relevante asociada a la mayor capacidad de adsorbancia y eficacia de remoción de TPH.

Existieron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales adsorbentes en estudio. Las fibras de pseudotallo de plátano tipo II y III presentaron mayor adsorbancia de agua en la prueba dinámica con 3,85 y 3,96 g/g, respectivamente. Para las pruebas de corto y largo plazo, se encontró que la fibra de pseudotallo de plátano tipo III durante 24 h presentó un mayor nivel de adsorbancia de TPH con 2,34 cm³/cm³. Esto quiere decir que por cada 100 cm³ de pseudotallo del plátano, esta fibra es capaz de adsorber aproximadamente 2,34 cm³ de hidrocarburos totales de petróleo. Además, se determinó que el contenido de lignina y celulosa influyó en esta propiedad, pues, a menor cantidad de lignina y mayor cantidad de celulosa en las fibras, estas presentan mayor capacidad de adsorción.

Al igual que con la capacidad de adsorción, la eficacia de remoción de TPH presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en estudio. El tratamiento T7: Fibra de plátano tipo II+24 h fue el que presentó una mayor eficacia para la remoción de diésel con el 98,29%, pero aumenta drásticamente la conductividad eléctrica en 829,18% y la turbidez en un 289,75%. La baja presencia de lignina y alta cantidad de celulosa permitió a la fibra de pseudotallo de plátano remover una mayor cantidad de TPH. El alto contenido de lignina de las fibras de coco impidió que sus partículas adsorban una mayor cantidad de diésel, lo que derivó en una menor eficacia de remoción.

5.2 Recomendaciones

Determinar la influencia de la cantidad de lignina en las propiedades de adsorción y remoción de TPH realizando un estudio bifactorial con extractos de biomasa de solo lignina frente a celulosa en distintas proporciones.

Estudiar las capacidades de adsorción de otros residuos orgánicos altos en celulosa como la cáscara de mazorca de cacao, el bagazo de caña de azúcar, cáscara de algodón, cáñamo, lino, entre otros. Además, analizar mezclas en distintas proporciones de las fibras para determinar si influyen en sus capacidades de adsorbancia y eficacia de remoción de TPH.

Examinar la incorporación del tratamiento de las fibras de coco y plátano con técnicas de extracción de lignina como NaOH 0,1 M, NaClO₂ al 1% o condiciones hidrotermales, esto para elevar las concentraciones de celulosa y mejorar las capacidades de adsorbancia y eficacia de remoción de TPH.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABANTO QUINTANA, Fernando & TOBOADA RODRIGUEZ, Eduardo Martin.** Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos-agua y su relación con la salinidad y temperatura. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Escuela profesional de Ingeniería Química. Lambayeque-Perú. 2018. pág.8. [Consulta: 2023-10-28]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3104/BC-TES-TMP-1594.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. **AGUIAR NOVILLO, Santiago; et al.** “Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento”. *AXIOMA* [en línea], 2022, (Ecuador), vol. 1 (27), págs. 05-10. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 1390-6267. Disponible en: <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/803/728>
3. **AL-DHABAAN, Fahad A.** “Morphological, biochemical and molecular identification of petroleum hydrocarbons biodegradation bacteria isolated from oil polluted soil in Dhahran, Saud Arabia”. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea], 2019, (Saudi Arabia), vol. 26(6), págs. 1247–1252. [Consulta: 14 noviembre 2023]. ISSN 1319-562X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.05.029>
4. **ALVARES REYES, Yomira Maribel.** Determinación de los costos de producción y rentabilidad del cultivo del plátano Dominico-hartón (*Musa aab*) vs cultivo del plátano Barraganete (*Musa sp*) en la parroquia El Vergel, cantón Valencia. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias. Los Ríos-Ecuador. 2018. pág. 12. [Consulta: 2023-12-08]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/45639534-9411-45c5-b2b7-f87c45d320b0/content>
5. **ANDRADE MOREIRA, María Benita & INTRIAGO ZAMBRANO, Edgar Francisco.** Factibilidad de una planta envasadora de agua de coco (*Cocos nucifera*) con adición de alcohol, en el cantón Rocafuerte – Manabí. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Manabí-Ecuador. 2014. pág.4. [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/431/1/TESIS_FACTIBILIDAD_AGUA_DE_COCO.pdf

6. **ARBOLEDA JÁCOME, Viviana Gabriela & BRAVO BASANTES, Verónica Mercedes.** Biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de la Central Hidroeléctrica del campamento Secoya mediante Landfarmig. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2008. pág.19. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/222/1/236T0006.pdf>
7. **ARCILA, María; et al.** *El Cultivo del Plátano* [en línea]. 3ª ed. Manizales-Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 1999. [Consulta: 08 diciembre 2023]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2095/40195_24824.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. **ARMAS, Eduardo C.** Petróleo-Petroecuador Sistema de facturación interfiliars. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN). Quito-Ecuador. 1994. pág. 21. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://es.studenta.com/content/132091619/armas-eduardo>
9. **BALZARINI, Mónica; et al.** *Manual del usuario* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Editorial Brujas, 2008. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1.
10. **BARROSO CASILLAS, Miguel.** Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de un biorrefinería. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid-España. 2010. págs.79-81. [Consulta: 2024-01-10]. Disponible en: https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf
11. **BECERRA, Sylvia; et al.** “Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: Percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta”. *Revista Lider* [en línea], 2013, (Ecuador), vol.15 (23), págs.102-120. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0719-5265. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4959912>
12. **BURBANO, Jimmy & MARTINEZ, Jaison.** Sistema para la recolección de hidrocarburos. (Trabajo de titulación). Universidad de Nariño, Facultad de Artes. Pasto-

Colombia. 2020. pág. 12. Consulta: 2023-12-13]. Disponible en:
<https://sired.udenar.edu.co/7261/>

13. **CAJAS ARGUERO, Darwin Bladimir.** Diseño de un triturador pulverizador de estopa de coco para la producción de sustrato granulado. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2011. págs. 12-197. [Consulta: 2023-12-18]. Disponible en:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4127/1/CD-3862.pdf>
14. **CASADO FERREIRO, Pablo.** Las barreras anticontaminación contra los vertidos hidrocarburos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica. Cantabria-España. 2013. pág.13. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en:
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferrei-ro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. **CIFUENTES SÁNCHEZ, Wilmer Guillermo & CIFUENTES RIVERA, Edison.** Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari departamento del meta. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías. Medellín-Colombia. 2019. pág. 9. [Consulta: 2023-12-08]. Disponible en:
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4925/Propuesta%20aprovec-hamiento%20fibra%20de%20pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
16. **CODATO, Daniele; et al.** “The multiple injustice of fossil fuel territories in the Ecuadorian Amazon: Oil development, urban growth, and climate justice perspectives”. *Landscape and Urban Planning* [en línea], 2024, (Ecuadorian Amazon Region), vol. 241 (104899), págs. 1-20. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0169-2046. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104899>
17. **COLLAZOS BUITRAGO, Sebastian & PINZÓN SILVA, Luisa Alejandra.** Propuesta de aprovechamiento del pseudotallo o vástago de plátano para fabricar fibras textiles en Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación). Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías. Bogotá-Colombia. 2022. pág.10. [Consulta: 2023-12-08]. Disponible en:
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8800/4/3171391-2022-1-II.pdf>

18. **CORONEL VARGAS, Gabriela; et al.** “Public health issues from crude-oil production in the Ecuadorian Amazon territories”. *Science of The Total Environment* [en línea], 2020, (Italy), vol.719 (134647), págs.1-10. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0048-9697. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134647>
19. **Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.** *Materiales absorbentes y adsorbentes de hidrocarburos y aceites Pemex.* [blog]. [Consulta: 05 noviembre 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/369548928/NRF-252-PEMEX-2012-pdf>
20. **CRUZ FERNÁNDEZ, Pablo.** Innovaciones tecnológicas en el ámbito de la lucha contra la contaminación por hidrocarburos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de La Laguna, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. San Cristóbal de La Laguna- España. 2017. pág.40. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en:
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5944>
21. **CHEN, Lin; et al.** “Recent developments on natural fiber concrete: A review of properties, sustainability, applications, barriers, and opportunities”. *Developments in the Built Environment* [en línea], 2023, (China), vol.16(100255), págs.1-17. [Consulta: 07 noviembre 2023]. ISSN 2666-1659. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100255>
22. **DANSO, Humphrey.** “Properties of Coconut, Oil Palm and Bagasse Fibres: As Potential Building Materials”. *Procedia Engineering* [en línea], 2017, (Ghana), vol.200, págs. 1-9. [Consulta: 13 enero 2024]. ISSN 1877-7058. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.002>
23. **DAS, Bhaskar & DEKA, Suresh.** “A cost-effective and environmentally sustainable process for phycoremediation of oil field formation water for its safe disposal and reuse”. *Scientific Reports* [en línea], 2019, (India), vol.9 (15232), págs. 1-15. [Consulta: 22 febrero 2024]. ISSN 2045-2322. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51806-5>
24. **Decreto Legislativo 0.** *Constitución de la República del Ecuador 2008.*
25. **Decreto Legislativo 1215.** *Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas.*

26. **DELGADO MOREIRA, María Isabel & VIDAL ZAMBRANO, Diana Beatriz.** Aprovechamiento del residuo del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*, *Musa sapientum* y *Musa acuminata*) en la producción artesanal de fibra textil. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta-Ecuador. 2021. pág.17. [Consulta: 2024-01-12]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1642/1/TTMA53D.pdf>
27. **DÍAZ DÍAZ, Miguel Ángel; et al.** “Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y suelos”. *Revista Cubana de Química* [en línea], 2018, (Cuba), vol.30 (2), págs. 289-298. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 2224-5421. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n2/ind10218.pdf>
28. **DONOSO NAVAS, Juan Sebastián.** Evaluación de las desviaciones de costos ejecutados de las operaciones de Workover de pozos petroleros en el Bloque ABC. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de las Américas, Facultad de Posgrado. Francisco de Orellana-Ecuador. 2017. pág. 17. [Consulta: 2023-11-20]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7523/1/UDLA-EC-TMDOP-2017-10.pdf>
29. **DOS ANJOS, Raoni Batista; et al.** “Crude oil removal using *Calotropis procera*”. *BioResources* [en línea], 2020, (United State of America), vol. 15 (3), págs.5246-5263. [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 1930-2126. Disponible en: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/crude-oil-removal-using-calotropis-procera/>
30. **ECUADOR, AMC.** *Barreras Fullsorb Control De Derrames 8In X 10Ft.* [blog]. [Consulta:15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://amcecuador.com/product/barreras-fullsorb-control-de-derrames-8in-x-10ft/>
31. **ELANTHIKKAL, Silviya; et al.** “Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2010, (India), vol.80 (3), págs. 852-859. [Consulta: 08 diciembre 2023]. ISSN 0144-8617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.043>
32. **EPETROECUADOR.** *El petróleo en el Ecuador en el la nueva era petrolera* [en línea]. Quito –Ecuador: Producción de Coordinación General de Imagen Empresarial de EP Petroecuador, 2013. [Consulta:12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petróleo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>

33. **FLORES LLUGCHA, Bernardo David & SIMALUISA UGSHA, Jonathan Javier.** Proyecto de factibilidad para la fabricación de tableros aglomerados con estopa de coco. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Ingeniería Industrial. Latacunga-Ecuador. 2022. pág.4. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9574/1/PI-002236.pdf>
34. **FLORES, Rodrigo.** *Telas y tejidos. Hilados de alta calidad.* [blog]. [Consulta: 05 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.hiladosdealtacalidad.com/telas-y-tejidos#:~:text=Raschel%3A>
35. **GALÁN LORO, Alfredo José & GUEVARA ALEJANDRÍA, Paul Orlando.** Centro de investigación, capacitación y tratamiento de desechos agrícolas para contrarrestar la contaminación por incineración de desechos de la caña de azúcar, maíz y arroz en Mesones Muro. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Escuela Académico Profesional de Arquitectura. Pimentel-Perú. 2021. pág.14. [Consulta: 2023-11-10]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8619/Gal%c3%a1n%20Loro%20Alfredo%20%26%20Guevara%20Alejandr%c3%ada%20Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
36. **GONZALEZ FRANCO, Sheilla Denisse.** Análisis comparativo de los procedimientos operativos en caso de derrames de hidrocarburos, enmarcados en el plan de contingencia del terminal petrolero de “La Libertad “. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. La Libertad-Ecuador. 2021. págs. 8-16. [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6511/1/UPSE-TIP-2021-0029.pdf>
37. **GORDILLO VALLEJO, Miguel Ángel.** Análisis de los riesgos ambientales potenciales por la presencia de oleoductos secundarios en el Oriente Ecuatoriano. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito-Ecuador. 2017. pág.13. [Consulta: 23-11-23]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17504/1/CD-8006.pdf>
38. **GRANADOS SÁNCHEZ, D. & LÓPEZ RÍOS, G.** “Manejo de la palma de coco (Cocos nucifera L.) en México”. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [en

- línea], 2002, (México), vol.8 (1), págs. 39-48. [Consulta: 05 noviembre 2023]. ISSN 2007-3828. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980105>
39. **GUAMINGO ROJAS, Edison Alejandro & LOOR ALBAN, Heiner Alexander.** Aprovechamiento de los residuos en la producción de café, cacao, plátano y maíz en el cantón Quevedo y sus zonas de influencia. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad Ciencias de la Ingeniería. Los Ríos-Ecuador. 2021. pág.78. [Consulta: 23-11-2023]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/30d1c837-df67-435f-92d0-95871113a6a5/content>
40. **HERNÁNDEZ, Nuria; et al.** “Caracterización química de la Fibra de Coco (*Cocos nucifera L.*) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR)”. *Ingeniería y Región* [en línea], 2018, (México), vol.20 (1), págs. 68-72. [Consulta: 23 noviembre 2023]. ISSN 1657-6985. Disponible en: <https://doi.org/10.25054/22161325.1914>
41. **IMPACT PR & DESIGN LIMITED, CANTERBURY, UK.** *Use of sorbent materials in oil spill response.* [blog]. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-08-use-of-sorbent-materials-in-oil-spill-response/>
42. **INTECOASTUR.** *Barreras absorbentes Hidrocarburos.* [blog]. [Consulta: 05 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.intecoastur.com/wp-content/uploads/2020/03/FT_ABSORBENTE_HIDROCARBUROS_GAMA_BLANCA_BARRERAS.pdf
43. **INTERNACIONAL, Organización Marítima.** *Manual sobre la contaminación provocada por hidrocarburos* [en línea]. 2a ed. Londres-Inglaterra: Organización Marítima Internacional, 2005. [Consulta: 23 noviembre 2023]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=8YIQn3DzQXIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=MATERIALES&f=false>
44. **ITOPF.** *Contingency planning for marine oil spills.* [blog]. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_16_Contingency_Planning_for_Marine_Oil_Spills.pdf

45. **ITOPF.** *Effects of oil pollution on the marine environment.* [blog]. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf
46. **LOJA SÁNCHEZ, Carlos Patricio.** Optimización de los residuos de cascarilla de arroz mediante pretratamiento por hidrólisis ácida para la obtención de azúcares reductores [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2017. págs. 44-45. [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: http://192.188.48.14/bitstream/123456789/26247/1/TRABAJO_DE_TITULACIÓN.pdf
47. **LOOR NAPA, Julexi Mishell.** Transformación de los productos derivados del coco y sus perspectivas de exportación al mercado chileno [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Estatal del Sur de Manabí. Manabí-Ecuador. 2021. pág. 16 [Consulta: 2023-11-05] Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3199/1/TESIS-TRANFORMACION%20DE%20LOS%20PRODUCTOS%20DERIVADOS%20DEL%20COCO%20Y%20SUS%20PESRPECTIVAS%20DE%20EXPORTACION%20AL%20MERC.pdf>
48. **LOOR VARGAS, José.** Tasa de crecimiento en precosecha y caracterización fisicoquímica poscosecha de frutos de tres genotipos de plátano (*Musa aab simmonds*) [En línea]. (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Manabí-Ecuador. 2021. pág. 5. [Consulta: 2023-12-18]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1550/1/TTA34D.pdf>
49. **LÓPEZ JIMENO, Carlos.** *El petróleo* [en línea]. Madrid-España: Comunidad de Madrid, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2002. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
50. **MACAS TORRES, Gabriela.** Uso de compostaje como estrategia de gestión de residuos orgánicos ganaderos en Mutile parroquia San Mateo-Esmeraldas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Esmeraldas-Ecuador. 2020. pág. 18. [Consulta:2023-11-10]. Disponible en: https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2165/1/MACAS_TORRES_GABRIELA_ISABEL.pdf

51. **MIRANDA, Darío & RESTREPO, Ricardo.** "Los derrames de petróleo en ecosistemas tropicales-impactos, consecuencias y prevención. La experiencia de Colombia". *Meridian Allin Express* [en línea], 2005, (Colombia), vol. 1, pág. 1. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 2169-3366. Disponible en: <https://meridian.allenpress.com/iosc/article/2005/1/571/138794/LOS-DERRAMES-DE-PETROLEO-EN-ECOSISTEMAS-TROPICALES>
52. **MONTOYA BERRIO, Julian Esteban & NEGRETE MARTÍNEZ, Juan de Dios.** Caracterización de la fibra del pseudotallo del plátano como potencial refuerzo para la elaboración de materiales compuestos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Córdoba. Córdoba-Colombia. 2023. pág. 20. [Consulta: 2023-12-08]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/04ee90c0-4fa9-4f05-875d-05b3ce1857f9/content>
53. **MONTOYA KONG, Tanler Rubén.** Evaluación de los métodos de recuperación de hidrocarburos vertidos en las superficies marinas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo. Trujillo-Perú. 2021. pág. 7. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/70296/Kong_MTR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
54. **MORA LUNA, David Leonardo & RICAURTE GÓMEZ, Diego Alejandro.** Estudio de viabilidad técnica y análisis de costos de las barreras absorbentes naturales contra derrames de hidrocarburos en cuerpos de aguas naturales. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de La Salle. Bogotá-Colombia. 2020. pág. 16. [Consulta: 23-11-23]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2197&context=ing_ambiental_s_anitaria
55. **OROSCO VERDEZOTO, Verónica Paulina & SORIA GUANO, Mercedes Margarita.** Biorremediación de vegetación contaminada con petróleo por derrames en el campamento Guarumo – Petroproducción. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2008. pág. 16. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/225/1/236T0009.pdf>

56. **ORTUÑO, Salvador.** *El mundo del petróleo: origen, usos y escenarios* [en línea]. México: FCE - Fondo de Cultura Económica, 2009. [Consulta: 12 noviembre 2023] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/37620>
57. **PERALTA SANCHEZ, Andres Fernando; et al.** "Transporte de crudo pesado por oleoducto usando el método de dilución: Un enfoque práctico para modelar la caída de presión y la precipitación de asfaltenos". *Revista Fuentes el Reventón Energético* [en línea], 2017, (Colombia), vol. 15 (2). págs. 7-17. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 16576527. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017001>
58. **PIÑA, Henri.** "El cultivo del cocotero bajo la concepción de los sistemas agroalimentarios localizados en Falcón, Venezuela". *Revista Venezolana de Análisis de Conyuntura* [en línea], 2019, (Venezuela), vol. XXV (1), pág. 114. [Consulta: 05 noviembre 2023]. ISSN 2665-010X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/364/36465108010/36465108010.pdf>
59. **QUIÑONES BERNAL, Nathalie.** Evaluación de fibras vegetales como sorbentes de hidrocarburos derramados en agua. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela. 2011. págs. 28-58. [Consulta: 2023-11-15]. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/17229/1/TEG Nathalie Bernal.pdf>
60. **RESOLUCIÓN No. MTOP-SPTM-2015-0148-R.** *Expídese el Plan Nacional de Contingencia para enfrentar la contaminación de hidrocarburos y/o sus derivados en el área marítima, costera, fluvial e insular.*
61. **Rincón; et al.** "Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (Cocos nucifera L.)". *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea]. 2016, (México), vol. 1 (2), págs. 279-284. [Consulta: 18 diciembre 2023]. ISSN 279-284. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>
62. **RIVERA CABO, Aitor.** Iniciación a los derrames de hidrocarburos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Técnica Superior de Náutica. Cantabria-España. 2015. pág. 95. [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7506/Aitor+Cabo+Rivera.pdf?sequence=1>

63. **RODRÍGUEZ CALVO, Alfonso; et al.** "Biodegradation and absorption technology for hydrocarbon-polluted water treatment". *Applied Sciences (Switzerland)* [en línea], 2020, (España), vol. 10 (3). págs. 1-17 [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 2076-3417. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10030841>
64. **ROJAS SASSE, Emilia.** *Derrames de petróleo en Ecuador: un mal crónico.* [blog]. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/derrames-de-petr%C3%B3leo-en-ecuador-un-mal-cr%C3%B3nico/g-60615653#:~:text=Oleoductos%20en%20zona%20peligrosa,ni%20llegaron%20a%20ser%20noticia>
65. **ROLDÁN, MARTÍN; et al.** "Efectos de mezclar pequeñas cantidades de cáscara de naranja (*Citrus reticulata*) con suelo contaminado con hidrocarburos en cultivo sólido para promover la remediación". *Revista de Salud y Ciencias Ambientales* [en línea], 2007, (México), vol. 41 (10), págs. 2373-2385. [Consulta: 12 febrero 2024]. ISSN 1093-4529. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10934520600873548>
66. **SALGADO ORTIZ, Gabriela Salomé.** Valorización energética de residuos agrícolas: cáscara de plátano, cascarilla de arroz y bagazo de caña mediante procesos de biodigestión y combustión. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2020. pág. 15. [Consulta: 2023-11-10]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu/bitstream/15000/20707/1/CD_10215.pdf
67. **SAN ANDRÉS, Gina; et al.** "Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador". *Heliyon* [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 9(9), págs. 1-9 [Consulta: 13 enero 2024]. ISSN 2405-8440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19267>
68. **SAN SEBASTIÁN, Miguel; et al.** "La salud de mujeres que viven cerca de pozos y estaciones de petróleo en la Amazonía ecuatoriana". *Panam Salud Publica* [en línea], 2001, (Ecuador), vol. 9(6). págs. 375-384. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 1020-4989 Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/8585>
69. **SCHLUMBERGER.** *Gravedad API.* [blog]. 2023. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: https://glossary.slb.com/es/terms/a/api_gravity

70. **SAYYED, Anwar; et al.** "Cellulose-based nanomaterials for water and wastewater treatments: A review". *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2021, vol. 9(6), pág. 1. [Consulta: 9251-9281]. ISSN 2213-3437. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106626>
71. **SELLAOUI, L; et al.** "Adsorption of emerging pollutants on lignin-based activated carbon: Analysis of adsorption mechanism via characterization, kinetics and equilibrium studies". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2023, (Tunisia), vol. 452(2), págs. 1-9 [Consulta: 12 febrero 2024]. ISSN 1385-8947. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139399>
72. **SERRANO BALLESTEROS, Luis Javier.** Calibración de un termómetro de vidrio para el análisis de gravedad api en petróleo crudo, utilizando un medio de comparación isotérmico líquido. [En línea]. (Monografía de titulación). Universidad de Cartagena. Cartagena-Colombia. 2017. pág. 21. [Consulta: 2023-11-20] Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/10136/MONOGRAFIA%20FINAL%20PARA%20IMPRIMIR%20lista%201.pdf?sequence=1>
73. **SILOS RODRÍGUEZ, José.** *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos* [en línea]. España: Gráficas "La Paz" de Terredonjimeno, 2008. [Consulta: 23 noviembre 2023]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kU90SzZc_TAC&oi=fnd&pg=PA17&dq=Manual+de+lucha+contra+la+contaminacion+por+hidrocarburos.+&ots=FG878pyun&sig=O5jQ4xB2Wki9JvTAwIAoMS7FDRU#v=onepage&q=aditivos&f=false
74. **SINCHE PALPÁN, Mercedes Milagros.** Análisis de riesgos en seguridad y salud ocupacional en la producción de petróleo en el sector Shiviayacu Lote 1AB- Loreto. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 2016. pág. 26. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2264/T10-S555-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
75. **TURSI, Antonio; et al.** "BTX removal from open Aqueous systems by modified cellulose fibers and evaluation of competitive evaporation kinetics". *Water (Switzerland)* [en línea], 2020, (Italia), vol. 12(11), págs. 1-9. [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 2073-4441. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3154>

76. **URDANETA CONTRERAS, Jhoanna Whaleska.** La importancia del petróleo en las relaciones internacionales de Venezuela durante el gobierno de Hugo Chávez (período 1999-2006). [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía-España. 2011. pág. 9. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1359/0198_Urdaneta.pdf?sequence=1&isAllowed=y
77. **VACA, Maritza; et al.** "Characterization of the Physical Properties of the Coconut Fiber Residue With a View to its Agroindustrial Use". *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 1 (1), págs.339–354. [Consulta: 05 noviembre 2023]. ISSN 2789-5009. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9569>
78. **VASILE, Cornelia & BAICAN, Mihaela.** "Lignins as Promising Renewable Biopolymers and Bioactive Compounds for High-Performance Materials". *Polymers* [en línea], 2023, (Rumanía), vol. 15(15), págs. 1-52. [Consulta: 12 febrero 2024]. ISSN 2073-4360. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/15/3177>
79. **VÁZQUEZ, Javier.** "El mundo actual del petróleo". *Dialnet* [en línea], 2008, vol. 303(2), págs. 57-72 [Consulta: 2023 noviembre 28]. ISSN 0213-6864. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2671642>
80. **VELÁSQUEZ ARIAS, Johana Andrea.** "Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [en línea], 2017, vol. 8(1), págs. 150-167. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 2145-6097. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6285716.pdf>
81. **VILELA ESTRADA, Jacinto Jorge.** Sensibilización sobre la importancia del manejo de desechos de estopa de cocotero frente al cambio climático. Caso de estudio manglar de la REMACAM, en las comunidades Pampanal de Bolívar y Tambillo. Periodo 2015-2019. [En línea]. (Trabajo de titulación). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO. Quito-Ecuador. 2020. pág.9. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16794/2/TFLACSO-2020JJVE.pdf>
82. **VIZUETE, Ricardo; et al.** "Análisis econométrico en la gravedad de un derrame petrolero y su contaminación ambiental. Caso de estudio: Campo Sacha - Ecuador". *Revista Espacios* [en línea], 2019. (Ecuador). vol. 40 (18), pág.24[Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN

<https://www.revistaespacios.com/a19v40n18/a19v40n18p24.pdf>



83. **XIN, Qin; et al.** "Fate, behaviour and microbial response of diluted bitumen and conventional crude spills in a simulated warm freshwater environment". *Environmental Pollution* [en línea], 2024, (Canadá), vol. 343. págs.1-14. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0269-7491. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123224>

84. **ZAVALA CHIRIBOGA, Lorena Carolina.** Evaluación del riesgo ambiental originado por el derrame de combustible en la línea PK-128 del cantón La Concordia Santo Domingo en el periodo 2011 – 2015. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2017. pág. 17. [Consulta: 2023-11-15]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7869/1/236T0295.pdf>

85. **ZHANG, Ronghai; et al.** "Remediation and Optimisation of Petroleum Hydrocarbon Degradation in Contaminated Water by Persulfate Activated with Bagasse Biochar-Supported Nanoscale Zerovalent Iron". *Sustainability (Switzerland)* [en línea], 2022, (China), vol. 14, págs. 1-17. [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9324>

ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE ENSAYO INIAP

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	
	ESTACIÓN EXPERIMENTAL CENTRAL DE LA AMAZONIA	
	LABORATORIO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS	
Cantón Sacha, Vía san Carlos km 3 Tlf: 063700000 ext 204		

REPORTE DE RESULTADOS N° 24-03

Datos Generales

NOMBRE PETICIONARIO	Petty Flor Aguilar Solórzano	INSTITUCIÓN	Particular
DIRECCIÓN	Av. Alejandro Labaka y Uvillas	TELÉFONO	0969746913
FECHA DE EMISIÓN	28/2/2024	FECHA DE RECEPCIÓN	14/2/2024
TIPO DE MUESTRA	Muestra plátano y coco	ANÁLISIS SOLICITADO	Van Soest (celulosa, holocelulosa, lignina)

ANÁLISIS	HUMEDAD	Celulosa*	Holocelulosa*	Lignina*	IDENTIFICACIÓN	
MÉTODO	LCA-PO-02	Kurschner y Hoffer	Norma: ASTM 1104-56	LCA-PO-016		
UNIDAD	%	%	%	%		
	2,133	38,946	53,185	15,472	24-005	Plátano
	1,976	45,353	54,719	41,381	24-006	Coco

Los ensayos marcados con * se reportan en base seca

Observación: Muestra entregada por el cliente

Responsable del Informe



ARMANDO BURBANO CACHIGUANGO

Ing. Armando Burbano MSc
Responsable de Laboratorio



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

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con los objetos de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este reporte de ensayo es de carácter confidencial, dirigido 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 Ud. ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información

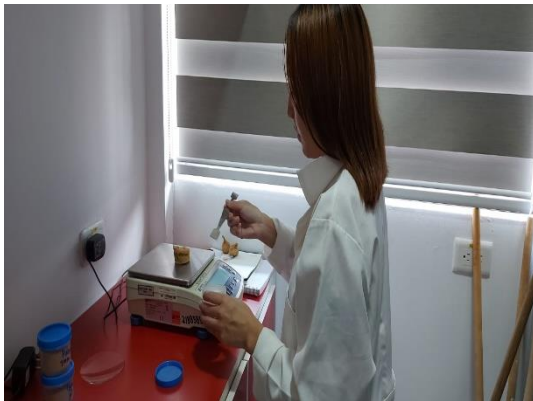
ANEXO B: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA



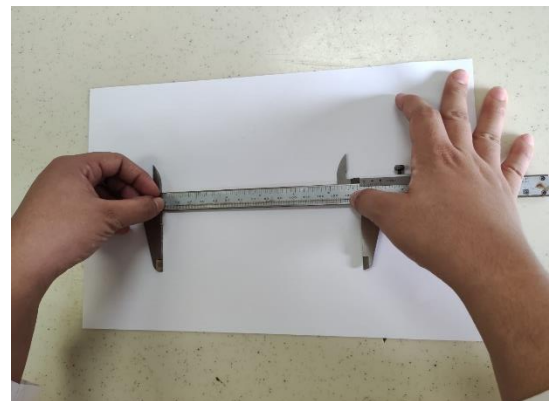
1. Obtención de la fibra de coco



2. Obtención de la fibra de pseudotallo de plátano



3. Determinación de peso de las fibras



4. Determinación de longitud de las fibras



5. Determinación de diámetro de las fibras



6. Visualización de fibras en el microscopio estereoscópico



7. Pesaje de las fibras a 5 g



8. Prueba dinámica, tipo II y III



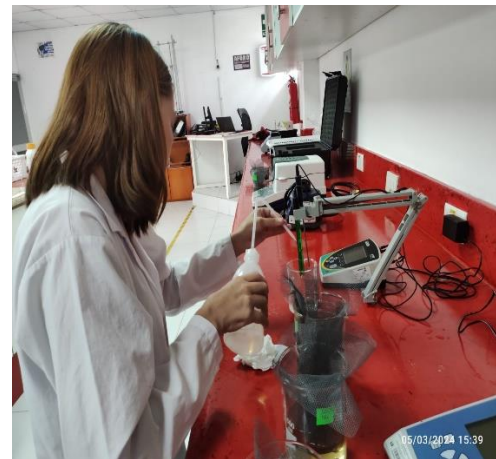
9. Prueba corta tipo II y III



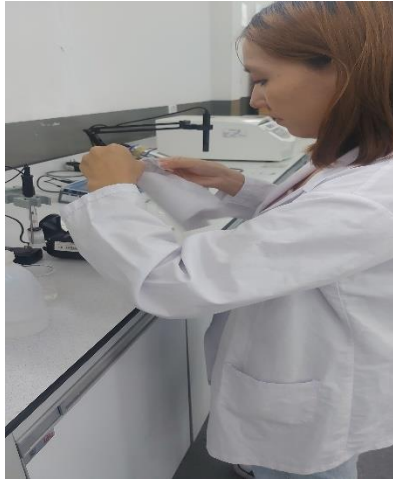
10. Prueba larga, tipo II y III



11. Preparación de agua contaminada con diésel



12. Medición de temperatura, pH conductividad eléctrica del agua



13. Medición de turbiedad del agua



14. Medición de hidrocarburos del agua



15. Prueba corta, Tipo II



16. Prueba corta, Tipo III



17. Prueba larga, Tipo II



18. Prueba larga, Tipo III

ANEXO C: REGISTRO DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA

Tratamiento	Diésel inicial (ppm)	Diésel final (ppm)	Eficacia remoción Diésel (%)	pH inicial	pH final	Eficacia pH (%)	Conductividad eléctrica (uS) inicial	Conductividad eléctrica (uS) final	Eficacia conductividad (%)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Eficacia turbidez (%)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Eficacia temperatura (%)
T0	360	360	0,00	6,75	6,75	0,00	674,00	676,00	-0,30	0,79	4,44	-462,03	26,10	26,50	-1,53
T0	277	277	0,00	6,75	6,75	0,00	674,00	676,00	-0,30	0,79	4,44	-462,03	26,10	26,50	-1,53
T0	300	300	0,00	6,75	6,75	0,00	674,00	676,00	-0,30	0,79	4,44	-462,03	26,10	26,50	-1,53
T1	360	19	94,72	6,76	6,99	-3,40	224,90	225,20	-0,13	2,20	1,99	9,55	26,20	26,60	-1,53
T1	353	20	94,33	6,76	6,98	-3,25	224,80	225,40	-0,27	2,40	2,20	8,33	26,20	26,60	-1,53
T1	340	19	94,41	6,76	6,95	-2,81	224,60	225,50	-0,40	2,30	2,00	13,04	26,20	26,60	-1,53
T2	277	35	87,36	6,77	6,88	-1,62	166,50	166,60	-0,06	1,76	1,09	38,07	26,10	26,40	-1,15
T2	256	35	86,33	6,77	6,88	-1,62	165,70	165,20	0,30	1,57	1,02	35,03	26,10	26,40	-1,15
T2	265	32	87,92	6,77	6,87	-1,48	166,90	163,60	1,98	1,81	1,10	39,23	26,10	26,40	-1,15
T3	262	38	85,50	7,13	7,36	-3,23	97,20	676,00	-595,47	0,79	4,44	-462,03	26,10	26,50	-1,53
T3	255	36	85,88	7,13	7,34	-2,95	97,20	680,00	-599,59	0,54	3,98	-637,04	26,10	26,50	-1,53
T3	249	39	84,34	7,13	7,34	-2,95	97,10	689,00	-609,58	0,90	4,21	-367,78	26,10	26,50	-1,53
T4	442	29	93,44	7,17	7,33	-2,23	96,80	539,00	-456,82	1,49	12,30	-725,50	26,30	26,40	-0,38
T4	438	30	93,15	7,17	7,33	-2,23	96,50	543,00	-462,69	2,45	10,80	-340,82	26,30	26,40	-0,38
T4	440	28	93,64	7,17	7,32	-2,09	96,70	539,00	-457,39	1,90	11,73	-517,37	26,30	26,40	-0,38
T5	648	18	97,22	6,33	6,19	2,21	101,20	283,90	-180,53	1,34	5,44	-305,97	27,80	26,80	3,60
T5	642	16	97,51	6,33	6,19	2,21	101,10	269,40	-166,47	1,30	5,29	-306,92	27,80	26,80	3,60
T5	620	19	96,94	6,33	6,19	2,21	100,80	278,20	-175,99	1,33	5,55	-317,29	27,80	26,80	3,60
T6	665	19	97,14	7,17	6,27	12,55	98,60	279,90	-183,87	1,21	5,05	-317,36	27,70	26,80	3,25
T6	650	17	97,38	7,17	6,27	12,55	97,70	280,00	-186,59	1,22	5,08	-316,39	27,70	26,80	3,25
T6	654	18	97,25	7,17	6,27	12,55	98,10	274,70	-180,02	1,17	4,93	-321,37	27,70	26,80	3,25
T7	960	18	98,13	7,30	6,80	6,85	98,90	915,00	-825,18	2,13	8,20	-284,98	27,90	27,00	3,23
T7	951	16	98,32	7,30	6,80	6,85	98,30	906,00	-821,67	2,10	8,09	-285,24	27,90	27,00	3,23
T7	948	15	98,42	7,30	6,80	6,85	97,80	920,00	-840,70	2,08	8,30	-299,04	27,90	27,00	3,23
T8	832	28	96,63	7,33	6,27	14,46	99,50	1024,00	-929,15	2,99	9,00	-201,00	28,20	26,90	4,61
T8	821	26	96,83	7,33	6,27	14,46	98,70	1028,00	-941,54	2,81	8,98	-219,57	28,20	26,90	4,61
T8	827	23	97,22	7,33	6,27	14,46	99,20	1032,00	-940,32	3,00	8,58	-186,00	28,20	26,90	4,61



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 10/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: Petty Flor Aguilar Solórzano y Merlyn Magdalena Merino Palma

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Ciencias

Carrera: Ingeniería Ambiental

Título a optar: Ingeniera Ambiental

Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero, M.Sc.
Director del Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Daniel Cabezas Andrade, M.Sc.
Asesor del Trabajo de Titulación