



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE
HIDROCARBUROS DE FIBRAS SINTETIZADAS CON
QUERATINA EXTRAIDA DE PLUMAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: BRYAN ALEXANDER LOZANO MERA

DIRECTOR: ING. LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDARIZ

Riobamba – Ecuador

2023

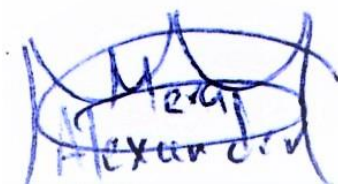
© 2023, Bryan Alexander Lozano Mera

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

Yo, Bryan Alexander Lozano Mera, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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.

Riobamba, 17 de mayo de 2023




A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Bryan Alexander Lozano Mera', enclosed within a blue scribbled rectangular border.

Bryan Alexander Lozano Mera

060398259-6

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 CAPACIDAD ADSORBENTE DE HIDROCARBUROS DE FIBRAS SINTETIZADAS CON QUERATINA EXTRAIDA DE PLUMAS**, realizado por el señor: **BRYAN ALEXANDER LOZANO MERA**, 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. Edison Geovanny Orozco Valencia Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-17
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-17
Ing. Ana Rafaela Pacurucu Reyes Mgs. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-17

DEDICATORIA

A mi familia en especial a mis tres hermanos: David, Michael e Ismael, con quienes he crecido.
A mis amigos y técnicamente hermanos: Edison, Andrés, Jaime, Felipe, Harold, Gabriel, Fernando, Cristian, Nicolas, Bryan, Alexx, Gabriela, Sandy, Jennifer, Liss, Ashley y Stefanía, por ser los más cercanos a mí, por su tiempo, paciencia, consejos y su ayuda completamente incondicional y desinteresada.

Alexander

AGRADECIMIENTO

Estoy completamente agradecido con dos personas que estuvieron en toda mi formación profesional desde el inicio, con mi hermano David Lozano, quien me ayudó, enseñó y guio durante toda la carrera, con mi amiga Jennifer Cuadrado, que me ayudo incondicionalmente, y a mi amiga Gabriela Pérez con quien conviví toda la carrera y fue de mucha ayuda en mi formación, una de las mejores personas que he conocido.

Agradecido por la inspiración y ayuda para este trabajo que recibí de tres profesores: Rafaela Pacurucu, Andrés Beltrán y Santiago Carrera, gracias, por ser un antes y después en esta carrera. Profesores que con solo hablar uno quiere llegar a su nivel de conocimiento y entendimiento.

Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.1 <i>Problema general de investigación</i>	4
1.2 Justificación.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Referencias teóricas	5
2.2.1 <i>Hidrocarburos naturales</i>	5
2.2.1.1 <i>Petróleo crudo</i>	6
2.2.2 <i>Clasificación de los hidrocarburos</i>	6
2.2.3 <i>Productos derivados del crudo</i>	8
2.2.3.1 <i>Destilación</i>	8
2.2.3.2 <i>Conversión</i>	9
2.2.4 <i>Productos de la refinería</i>	9
2.2.4.1 <i>Gasolina</i>	9
2.2.4.2 <i>Combustibles para reactores</i>	9
2.2.4.3 <i>Combustibles para motores diésel de automóviles</i>	10
2.2.4.4 <i>Aceites de calefacción</i>	10
2.2.4.5 <i>Fuelóleos residuales</i>	10
2.2.5 <i>Propiedades de los hidrocarburos</i>	10
2.2.5.1 <i>Densidad (gravedad específica)</i>	10

2.2.5.2	<i>Punto de ebullición</i>	11
2.2.5.3	<i>Viscosidad</i>	11
2.2.6	Comportamiento de un derrame en el agua	12
2.2.6.1	<i>Comportamiento del derrame</i>	12
2.2.6.2	<i>Propagación</i>	12
2.2.6.3	<i>Evaporación</i>	13
2.2.6.4	<i>Dilución</i>	14
2.2.6.5	<i>Oxidación</i>	15
2.2.6.6	<i>Emulsificación</i>	15
2.2.6.7	<i>Sedimentación</i>	16
2.2.6.8	<i>Biodegradación</i>	16
2.2.6.9	<i>Movimiento de las manchas de hidrocarburos</i>	17
2.2.6.10	<i>Procesos de meteorización y modelado</i>	17
2.2.7	Planes de contingencia	18
2.2.8	Contención de los hidrocarburos	18
2.2.8.1	<i>Barreras de contención</i>	19
2.2.9	Contención de derrames en tierra y ríos	20
2.2.9.1	<i>Penetración de los hidrocarburos en tierra</i>	20
2.2.9.2	<i>El petróleo en las aguas subterráneas</i>	21
2.2.9.3	<i>Derrames de petróleo en ríos</i>	22
2.2.9.4	<i>Métodos de contención de los derrames en ríos</i>	23
2.2.10	Sorbentes	24
2.2.10.1	<i>Sorbentes de hidrocarburos</i>	24
2.2.10.2	<i>Clasificación de los sorbentes</i>	24
2.2.10.3	<i>Propiedades de un sorbente</i>	26
2.2.11	Clases de sorbentes	26
2.2.11.1	<i>Materiales adsorbentes inorgánicos sólidos</i>	26
2.2.11.2	<i>Materiales absorbentes inorgánicos porosos</i>	26
2.2.11.3	<i>Materiales absorbentes orgánicos naturales</i>	26
2.2.11.4	<i>Materiales absorbentes poliméricos sintéticos</i>	27
2.2.12	Control de un derrame de petróleo con sorbentes	27
2.2.13	Ventajas de la utilización de sorbentes	27
2.2.13.1	<i>Desventajas de la utilización de sorbentes</i>	28
2.2.14	Limitaciones al uso de los sorbentes	28
2.2.15	Aplicaciones generales	28
2.2.16	Queratina	29

2.2.16.1	<i>Clasificación de la queratina en tejidos</i>	30
2.2.16.2	<i>Aislamiento de la queratina</i>	30
2.2.17	Plumas	31
2.2.18	Estructura y propiedades de plumas y queratina	31
2.2.18.1	<i>Extracción de queratina de plumas</i>	31
2.2.18.2	<i>Extracción enzimática</i>	32
2.2.18.3	<i>Extracción química</i>	32
2.2.19	Policondensación	32
2.2.20	Poliamidas	33
2.2.21	Método ASTM F276-12	33
2.2.22	Tipos de adsorbentes	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1	Tipo y diseño de investigación	34
3.2	Población de estudio	35
3.2.1	Tamaño de la muestra	35
3.2.1.1	<i>Etapa de policondensación</i>	35
3.2.1.2	<i>Etapa de evaluación de capacidad adsorbente.</i>	36
3.2.2	Selección de la muestra	36
3.3	Técnicas de recolección de datos	37
3.3.1	Obtención de la materia prima	37
3.3.2	Lavado y secado de la materia prima	37
3.3.3	Reactivos	37
3.3.4	Preparación de disoluciones	38
3.3.4.1	<i>Sulfuro de sodio 6% (p/v)</i>	38
3.3.4.2	<i>Peróxido de hidrógeno al 30% (v/v)</i>	38
3.3.4.3	<i>Ácido sulfúrico al 10% (p/v)</i>	38
3.3.4.4	<i>Hidróxido de sodio al 8% (p/v)</i>	38
3.3.4.5	<i>Acido adípico al 1, 5 y 10 % (p/v)</i>	39
3.3.4.6	<i>Acido oxálico al 1 y 5 % (p/v)</i>	39
3.3.5	Hidrólisis	39
3.3.6	Policondensación de la queratina	40
3.3.7	Preparación y adecuación de muestras	41
3.3.8	Determinación de la flotabilidad	41

3.3.9	<i>Preparación del medio de adsorción</i>	41
3.3.10	<i>Rendimiento del sorbente</i>	42
3.3.10.1	<i>Prueba de adsorción corta</i>	42
3.3.10.2	<i>Prueba de adsorción larga</i>	42

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1	Preparación y adecuación de muestras	43
4.1.1	<i>Hidrólisis de plumas</i>	43
4.2	Policondensación de queratina	43
4.2.1	<i>Resultados de la policondensación de queratina</i>	44
4.2.1.1	<i>Resultados policondensación con ácido adípico</i>	44
4.2.1.2	<i>Resultados de la policondensación con ácido oxálico</i>	45
4.2.2	<i>Análisis de varianza del proceso de policondensación</i>	45
4.2.2.1	<i>Test LSD para el efecto de la concentración de ácido adípico</i>	46
4.3	Eficiencia del proceso de síntesis de fibras de queratina	47
4.4	Preparación de partículas tipo II y tipo III	47
4.5	Flotabilidad	48
4.6	Rendimiento de adsorción de las fibras sintéticas de queratina	48
4.6.1	<i>Análisis de varianza del rendimiento</i>	49
4.6.1.1	<i>ANOVA adsorción de partículas tipo II</i>	49
4.6.1.2	<i>ANOVA adsorción de partículas de tipo III</i>	50
4.6.1.3	<i>ANOVA rendimiento del sorbente</i>	51
4.7	Capacidad del sorbente	51

BLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación de los crudos aromáticos en función de su composición.	6
Tabla 2-2: Clasificación de los crudos parafínicos en función de su composición.	7
Tabla 2-3: Clasificación de los crudos aromáticos en función de su composición.	7
Tabla 2-4: Relación color de la mancha y su espesor aproximado.	13
Tabla 2-5: Valores de K.	20
Tabla 2-6: Capacidad de retención del suelo.	20
Tabla 2-7: Petróleo retenido sobre el margen de capilaridad por tipo de suelo y valores F.	22
Tabla 2-8: Propiedades generales de los sorbentes más utilizados.	25
Tabla 2-9: Aplicación de los distintos tipos de sorbentes y partículas.	28
Tabla 3-1: Codificación de unidades experimentales, etapa de policondensación.	35
Tabla 3-2: Codificación de unidades experimentales para la etapa evaluación de absorción.	36
Tabla 3-3: Reactivos usados en el proceso de hidrólisis.	37
Tabla 3-4: Reactivos utilizados en el proceso de policondensación.	37
Tabla 4-1: Volumen de solución de queratina líquida obtenido por hidrólisis.	43
Tabla 4-2: Características de la queratina en solución líquida.	43
Tabla 4-3: Resultados promedio de la policondensación con ácido adípico.	44
Tabla 4-4: Resultados promedio de la policondensación con ácido oxálico.	45
Tabla 4-5: Análisis de varianza del proceso de policondensación con ácido adípico.	46
Tabla 4-6: Eficiencia del proceso de síntesis de fibras de queratina con plumas.	47
Tabla 4-7: Pesos promedios de las muestras de partículas preparadas para las pruebas.	48
Tabla 4-8: Resultados de la prueba de flotabilidad en base a la Norma ASTM.	48
Tabla 4-9: Capacidad adsorbente de las fibras sintéticas de queratina.	49
Tabla 4-10: Análisis de varianza para el rendimiento de las partículas de tipo II.	50
Tabla 4-11: Análisis de varianza del rendimiento de las partículas de tipo III.	50
Tabla 4-12: Análisis de varianza, rendimiento de las fibras de queratina como sorbente.	51
Tabla 4-13: Capacidad de adsorción promedio de las fibras de queratina.	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Metodología por aplicar.	34
Ilustración 3-2: Esquema del proceso de hidrólisis.....	39
Ilustración 3-3: Esquema del proceso de policondensación.....	40
Ilustración 4-1: Eficiencia de la policondensación con ácido adípico.....	44
Ilustración 4-2: Test LSD de la concentración de ácido adípico.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DE LA HIDRÓLISIS QUÍMICA.

ANEXO B: RESULTADOS DE LA POLICONDENSACIÓN, ÁCIDO ADÍPICO.

ANEXO C: RESULTADOS DE LA POLICONDENSACIÓN, ÁCIDO OXÁLICO.

ANEXO D: PESOS DE LAS PARTÍCULAS PARA LA ADSORCIÓN CORTA.

ANEXO E: PESOS DE LAS PARTÍCULAS PARA LA ADSORCIÓN LARGA.

ANEXO F: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADSORCIÓN CORTA.

ANEXO G: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADSORCIÓN LARGA.

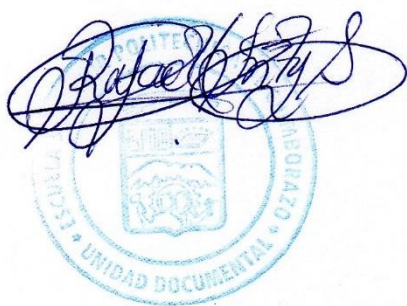
ANEXO H: EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE LA METODOLOGÍA SEGUIDA.

RESUMEN

Uno de los problemas relacionados a la industria hidrocarburífera son los derrames de hidrocarburos, todas las estrategias diseñadas para su contención y extracción hace uso de los sorbentes, los cuales están limitados en su uso por diversos factores siendo los sintéticos los mejor desempeño presentan, por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad sorbente de fibras sintetizadas a partir de la queratina extraída en plumas. La metodología implementada en este trabajo fue de tipo exploratoria y descriptiva, analizando la relación entre el tipo de ácido dicarboxílico aplicado, la temperatura en la formación de fibras sintéticas y el tipo de partícula utilizado y su capacidad adsorbente. Se utilizó un diseño experimental, en cuyas unidades de análisis se utilizó las fibras formadas de queratina y su capacidad adsorbente de hidrocarburos como variables de respuesta. Aplicando esta metodología se determinó que la síntesis de fibras de queratina tiene un rendimiento máximo del 22,7% usando ácido adípico al 10% (p/v), al usar ácido oxálico se dio la formación de una masa sin consistencia. Tras la prueba de flotabilidad las partículas de tipo II tuvieron un 84% de flotabilidad y las partículas de tipo III sin flotabilidad. La capacidad adsorbente de las fibras sintéticas fue para las partículas de Tipo II de 0,94 veces su peso y para las partículas de Tipo III de 9,35 veces su peso. Se concluye que las fibras sintéticas de queratina tienen un bajo rendimiento de adsorbancia al compararlo con otros sorbentes, no se pueden aplicar en agua ya que más del 10% decantaron y que la mejor condición de síntesis se dio con el ácido adípico.

Palabras clave: <SÍNTESIS>, <SORBENTE>, <HIDROCARBUROS>, <POLICONDENSACION>, <FIBRAS>, <QUERATINA>.

1220-DBRA-UPT-2023



SUMMARY / ABSTRACT

One of the problems related to the hydrocarbon industry is hydrocarbon spills; all the strategies designed for its containment and extraction use sorbents, which are limited in their use by various factors, synthetic ones being the ones that present the best performance. This research aimed to evaluate the sorbent capacity of fibres synthesized from the keratin extracted from feathers. The methodology implemented in this work was exploratory and descriptive, analyzing the relationship between the type of dicarboxylic acid applied, the temperature in the formation of synthetic fibres and the type of particle used and its adsorbent capacity. An experimental design was used, in whose analysis units the fibres formed from keratin and their hydrocarbon adsorbent capacity were used as response variables. Applying this methodology, it was determined that the synthesis of keratin fibres has a maximum yield of 22.7% using 10% (w/v) adipic acid; a mass without consistency was formed when using oxalic acid. After the buoyancy test, the type II particles had 84% buoyancy, and the type III particles had no notability. The adsorbent capacity of the synthetic fibres was 0.94 times their weight for Type II particles and 9.35 times their weight for Type III particles. It is concluded that the synthetic keratin fibres have a low absorbance performance compared to other sorbents; they cannot be applied in water since more than 10% settled, and the best synthesis condition occurred with adipic acid.

Keywords: <SYNTHESIS>, <SORBENT>, <HYDROCARBONS>, <POLYCONDENSATION>, <FIBERS>, <KERATIN>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

Las industrias Hidrocarburíferas han sido parte del desarrollo económico de diversos países, acompañado de varios conflictos tanto sociales, económicos y ambientales. Uno de los principales impactos ambientales generados son los derrames, esto en los diversos procesos que comprenden la industria que son la exploración, extracción, transporte, refinación y exportación (Velásquez Arias, 2017). En Ecuador desde el año 2012 el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica (MAATE) registró 1584 derrames en los 83 bloques de la Amazonía ecuatoriana, señalando que las principales causas de derrames son la corrosión interna y externa en tuberías, sabotaje, hurto, toma clandestina, fenómenos naturales, entre otros. (Alvarado A., 2022)

Cuando los hidrocarburos entran en el ambiente ya sea al aire, suelo o agua tanto por derrames o por emisiones de diversas industrias genera daños que dependerán tanto de las características del hidrocarburo como del sitio afectado. En general los sistemas acuáticos son los más expuestos por los derrames, afectando directamente a organismos vulnerables como el plancton y dañando las redes tróficas, los hidrocarburos pueden inhibir la fotosíntesis a concentraciones menores de 1 ppm, limitar la zona fótica o por su toxicidad afectar la biota. Estos daños se terminan percibiéndose en la economía tanto local como regional. (Díaz et al., 2018)

Hay diversas técnicas que pueden ser aplicadas en emergencias cuando se detecta un derrame o una fuga, las barreras sirven para contener la dispersión del hidrocarburo, y para la recuperación hay diversos sistemas como la recolección o succión de sustancias. Pero el uso de estas está determinado tanto por las condiciones del derrame, las propiedades del hidrocarburo, las características del sitio o las condiciones climáticas. La aplicación de sorbentes es una técnica muy aplicada existiendo tanto orgánicos naturales, inorgánicos naturales y sintéticos, pero características como la velocidad de adsorción o absorción, tipo de hidrocarburo o facilidad de uso y reutilización, limitan a cada material de ser una solución viable en todos los casos. (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

La síntesis de fibras de queratina es una opción que puede aprovechar residuos generados en la agroindustria, en este caso las plumas de aves que son aptas para aprovechar su alta composición de queratina, la cual, puede ser extraída por hidrólisis y posteriormente polimerizar para generar fibras con características hidrófobas capaces de adsorber hidrocarburos en distintos medios y por su naturaleza, ser biodegradables, además de que pueden ser aplicadas en otros campos.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la capacidad adsorbente de hidrocarburos de fibras sintetizadas con queratina extraída de plumas

Objetivos específicos

- Sintetizar fibras mediante hidrolisis de tejidos y policondensación de queratina.
- Determinar las condiciones óptimas para la policondensación en la formación de fibras de queratina.
- Examinar la aplicabilidad de las fibras sintéticas de queratina en agua mediante la prueba de flotabilidad descrita en el método ASTM F276-12.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La industria petrolera es un pilar fundamental en el desarrollo de las actividades económicas a nivel mundial es por esta razón que en el Ecuador al ser un país productor de petróleo se ha visto un incremento en el desarrollo industrial, al igual que el crecimiento poblacional. Los hidrocarburos y sus derivados son potencialmente mortales si contaminan el agua, aire y suelo en cantidades superiores a los valores permitidos. El Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas, controla y regula las actividades Hidrocarburíferas de explotación, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo, de igual manera controla los programas de remediación en caso de derrames o fugas existentes o relacionadas en las actividades (Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2016), también el Acuerdo Ministerial 097-A fija los límites máximos permisibles para descargas al sistema de alcantarillado y cuerpos de agua dulce de los hidrocarburos totales de petróleo.

Los hidrocarburos ingresan al ambiente por diferentes vías, por medio de accidentes como emisiones industriales, derrames, fugas o como subproductos de actividades industriales o domésticas. Los derrames en ambientes acuáticos llegan a tener impactos severos, dependiendo tanto de la características y cantidad de hidrocarburo derramado. En el suelo van a depender tanto de las características del hidrocarburo como del suelo en el que se encuentran. Estos factores determinan el comportamiento de los TPH en el ambiente. (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

Por lo tanto, resulta importante buscar soluciones efectivas frente a estos problemas. La aplicación de sorbentes es una medida de control efectiva, pero en algunos casos el sorbente es inadecuado o con un proceso de gestión muy caro. Por ello existe la necesidad de obtener sorbentes de hidrocarburos de bajo costo, eficientes y de fácil reutilización (Díaz et al., 2018)

En esta investigación se sintetizará fibras de queratina a partir de plumas para aplicarlas como sorbente sintético con el objetivo de absorber o adsorber hidrocarburos para su posterior extracción del medio, manipulando el tiempo de contacto y el tamaño de partícula para determinar las condiciones óptimas de aplicación.

1.1.1 Problema general de investigación

La aplicación de materiales sorbentes tanto orgánicos naturales, inorgánicos naturales o sintéticos, siempre se limitan por las condiciones del derrame, tanto meteorológicas, geográficas, o características del hidrocarburo o el grado de afinidad con el sorbente (Elizaveta y Maria, 2021). Por ello es importante la búsqueda de nuevos materiales que puedan suplir o auxiliar en caso de que otros sorbentes no sean aptos para su aplicación, para que en futuras emergencias existan más alternativas viables en operaciones de contención y limpieza.

1.2 Justificación

A nivel mundial el agua contaminada independientemente de su origen es una problemática constante y palpable, el agua contaminada con hidrocarburos causa un gran impacto negativo con la salud humana y en general con toda la biota debido a su alta toxicidad. Este trabajo puede servir a nivel industrial como parte de los planes de contingencia en caso de derrames o fugas de hidrocarburos. La aplicación de sorbentes es un método muy común cuando existen derrames o fugas de diversos líquidos, el uso de materiales sintéticos facilita su aplicación, almacenamiento y tratamiento. En el caso de fibras sintéticas de queratina se busca proporcionar un material de fácil uso y biodegradable cuya materia prima sean residuos agroindustriales, característica que no tienen los materiales sintéticos convencionales aplicados como sorbentes, facilitando a la industrias los procesos de limpieza y extracción de hidrocarburos, al mismo tiempo, al ser un material fibroso, puede ser aplicado en la industria textil. Según el Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas menciona que el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica tiene la facultad de suspender las actividades Hidrocarburíferas legales o ilegales e imponer motivadamente, las medidas preventivas y/o correctivas, sanciones y multas, cuando existan incumplimientos de las obligaciones ambientales, conforme a lo establecido en el Art. 396 de la Constitución de la República del Ecuador. (Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2016). El avance de la tecnología permite el desarrollo de la síntesis de materiales aprovechando residuos provenientes de diversas industrias, una alternativa con ventajas competitivas a los sorbentes convencionales para el tratamiento de contaminación por hidrocarburos.

La queratina está presente en diversos tejidos siendo una proteína estructural de los mismos, a diversos biopolímeros se les atribuye características como la hidrofobicidad o absorbancia gracias a esta proteína, de igual manera se describe su afinidad a diversos compuestos orgánicos. (S.Kokot y Queensland University of Technology, 2001) lo que permite a que sea usada como absorbente en la extracción de hidrocarburos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Diana Gonzales en su estudio “Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua” identificó y evaluó materiales orgánicos naturales con potencial sorbente para su aplicación en derrames tanto en agua como en suelos. Los materiales aplicados fueron fibra de caña, fibra de coco y buchón de agua, con hidrocarburos de tres distintos grados API 35, 30 y 25°. En medios de agua destilada, agua marina artificial todo esto en función de la norma ASTM F-726 demostrando que los tres materiales tienen una capacidad idéntica e incluso superior a un material comercial. En la sorción de agua la mayor hidrofobicidad la demostró la fibra de caña, el buchón de agua fue muy hidrofílico. Se encontró que los materiales se saturan en un tiempo menor a un minuto, otorgando una rápida limpieza para este propósito. Al final se realizó un tratamiento térmico para mejorar la hidrofobicidad y comportamiento, la fibra de caña presento el mejor desempeño entre todos los materiales. (Ortiz Gonzales et al., 2006)

Elizaveta Mikhedova en su publicación “*Ecological aspects of sorbents use to improve the efficiency of bioremediation on oil-contaminated lands*” Describe los beneficios que se obtienen al aplicar sorbentes en suelos contaminados ayudando a reducir la toxicidad y acelera la degradación de hidrocarburos, evaluó sorbentes basados en carbón, minerales y materiales naturales. La eficiencia de estos depende de la región en la que se aplique, condiciones climáticas, tipo de suelo y las características del hidrocarburo, utilizo turba como sorbente natural orgánico, vermiculita, sorbente basado en carbón, los resultados revelaron que los tres sorbentes mantienen neutro el pH del suelo, aumentan la humedad y disminuyen la fitotoxicidad del suelo. (Elizaveta y Maria, 2021)

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 *Hidrocarburos naturales*

El petróleo y el gas natural están constituidos en su mayoría por hidrocarburos, que son compuestos complejos de carbono e hidrógeno, mezclados entre sí con otros elementos químicos. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.1.1 *Petróleo crudo*

Son mezclas muy complejas de hidrocarburos líquidos, en disolución hidrocarburos gaseosos (crudos ligeros), o sólidos (crudos pesados). Los cuales van desde sustancias simples con alta volatilidad hasta ceras complejas y compuestos alifáticos imposibles de destilar. Estos pueden combinarse con compuestos sulfurados y nitrogenados de carácter orgánico, compuestos oxigenados como ácidos grasos y otros elementos como oxígeno, nitrógeno, sales minerales, níquel, entre otros. (Silos Rodríguez, 2013).

Tabla 2-1: Clasificación de los crudos aromáticos en función de su composición.

ELEMENTO	RANGO	TÍPICO %
CARBONO	85 – 95	85
HIDROGENO	5 - 15	13
AZUFRE	< 5	1,3
OXIGENO	< 2	0,5
NITROGENO	< 0,9	0,5
METALES	< 0,1	

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

2.2.2 *Clasificación de los hidrocarburos*

Los hidrocarburos se clasifican en la composición de petróleo crudo por la “*Petroleum Formation and Occurrence*” tenemos los siguientes elementos:

- Hidrocarburos saturados
- Hidrocarburos aromáticos
- Resinas y asfáltenos

Todos los crudos cuentan en su composición estos cuatro grupos de componentes, de estos los saturados constituyen el más importante. A partir de esto el petróleo se clasifica por el contenido de los hidrocarburos en su estructura. Se tiene:

- a. Parafínicos o Nafténicos si el contenido total de hidrocarburos saturados está sobre el 50%, el contenido de azufre es inferior al 1%. (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

Tabla 2-2: Clasificación de los crudos parafínicos en función de su composición.

Crudos Parafínicos (Hidrocarburos saturados > 50%)	
Parafinas > Naftenos	Parafínico puro
Parafinas > 40%	
Parafinas <= 40%	Parafínico – Nafténico
Naftenos <= 40%	
Naftenos > Parafinas	Nafténico
Naftenos > 40%	

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

b. Aromáticos si el contenido total de hidrocarburos saturados es menor al 50% y el contenido de hidrocarburos aromáticos, asfáltenos y resinas es supera el 50%

Tabla 2-3: Clasificación de los crudos aromáticos en función de su composición.

Crudos Aromáticos (Hidrocarburos saturados < 50%)	
Hidrocarburos aromáticos > = 50%	aromático intermedio
Parafinas > 10%	
Parafinas <= 10 %	aromático asfáltico
Naftenos <= 25 %	
Parafinas <= 10 %	aromático Nafténico
Naftenos >= 25 %	

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

Los parafínicos se componen de los crudos ligeros, con una gravedad específica menor a 0,85, y la cantidad de resinas y asfáltenos inferior al 10%. De baja viscosidad, excepto cuando contiene abundancia de “n-Alcanos” de alto peso molecular. Bajo contenido de azufre. Los parafínicos – Nafténicos tienen alto contenido en resinas más asfáltenos entre el 5% y el 15% y un contenido de azufre de hasta el 1%. Con densidad y viscosidad mayor a los parafínicos, pero siendo moderada.

Los crudos Nafténicos son pocos, porque generalmente son alteraciones bioquímicas de las anteriores.

Los aromáticos intermedios se componen por la mayoría de los crudos pesados, esto porque su contenido de resinas y asfáltenos llega a superar el 30%. El azufre ronda el 1% en contenido. Las otras dos subclases de crudos aromáticos proceden de alteraciones en crudos parafínicos,

parafínicos – Nafténicos o aromáticos intermedios, por ellos son pesados, viscosos esto que por su contenido en resinas más asfáltenos que llega al 60%. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.3 Productos derivados del crudo.

Mientras que a nivel coloquial se piensa que los productos del petróleo consisten en unos pocos, como la gasolina, combustibles de reactores, queroseno y otros. Un estudio llevado por el American Petroleum Institute reveló que se fabrican más de 2000 productos en función de sus especificaciones individuales. Para los diseños de las refinerías se consideran pocos productos, y sus procesos básicos se basan a una producción de escala grande de los tres antes mencionados. Su almacenamiento y eliminación de desechos son procesos caros por ello la necesidad de vender todo o utilizarlos, incluso si se venden a precios inferiores. Para entender la necesidad de los diversos procesos de la refinería es necesario un conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los productos del petróleo. (Gary y Handwerk, 2020)

Luego de la extracción del crudo del pozo, sube por los cabezales de producción situado en su parte superior. Se somete a un proceso de separación ya que este sale con gas, agua, sedimentos e impurezas, esto se realiza en los separadores que están en el mismo campo de producción, estos son tanques donde el petróleo crudo entra por la parte superior y se separan por la gravedad. Sedimentos al fondo, el agua en la parte media y el crudo con gas a la parte superior. El crudo luego de esta etapa aún tiene contenido de gas el cual se separa de manera especial por dispositivos que secan y atrapan al gas por adsorción y absorción. Cuando el crudo está totalmente limpio es transportado por oleoductos a los puntos de refinación o refinerías, estos procesos son variados, es más habitual es la destilación. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.3.1 Destilación

La destilación atmosférica y al vacío son los procesos más clásicos dentro de esta industria. La diferencia es que el segundo permite alcanzar temperaturas más altas a bajas presiones y lograr refinar fracciones muy pesadas. El objetivo es separar los componentes del crudo por el calor, cuando el crudo llega a las refinerías se somete la destilación fraccionada, en este proceso se alimenta una columna con el petróleo calentado a una temperatura de 370°C, en la torre circula y se evapora, separando los productos más ligeros. (Blanco Ybanez, 2018)

2.2.3.2 Conversión

Para aumentar la rentabilidad del refinado y adecuar la producción a la demanda, se transforman los productos mediante técnicas de conversión, los principales procedimientos son el “cracking” y el “reformado”. El crackeo produce una ruptura molecular y se puede realizar por craqueo térmico que rompe las molecular por el calor, o el craqueo catalítico que rompe las moléculas usando catalizadores, esto es una sustancia que causa cambios químicos sin sufrir modificaciones en el proceso. Esta técnica se aplica de igual manera para obtener etileno, a partir del etano, propano, propileno, butano o queroseno. Es necesario temperaturas de 730 – 760 °C a presiones de 1,4 atm. (Blanco Ybanez, 2018)

2.2.4 Productos de la refinería

2.2.4.1 Gasolina

La gasolina es un combustible y se clasifica en función de su valor de octanaje. Para conocer este valor se efectúan corridas de prueba en un motor mono cilíndrico. El octanaje se define como la capacidad antidetonante, el control de la combustión dentro del motor, con el máximo aprovechamiento de la energía que se libera. Este índice de octano en la gasolina se puede aumentar con una mayor composición de hidrocarburos de mayor octanaje o lo que es igual mayor moléculas de cadena ramificada o agregando mejoradores de octano como son el etanol con un octanaje de 108 y el éter metil tert-butílico con un octanaje de 116, se consideran aditivos de octanaje. (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

Según análisis API las refinerías fabrican unos 40 tipos de gasolina, el 90% de la gasolina producida se utiliza como combustible para automóviles. Generalmente se producen dos categorías, normal y especial, y el contenido de plomo debe ser bajo o nulo, esto para cumplir las normas ambientales. La diferencia entre las dos categorías es su comportamiento antidetonante, esto determinado por el numero NOI, número de octano, que para las normales es de 94 y para las especiales de 99. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.4.2 Combustibles para reactores

Es un producto en el intervalo de ebullición del queroseno y su combustión debe ser limpia. Una especificación crítica es el punto de humeo, que limita su porcentaje de productos craqueados con

una concentración alta de aromáticos que pueden ser incorporados. La concentración de aromáticos está limitada al 20%. (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

2.2.4.3 Combustibles para motores diésel de automóviles

Las características más importantes para los combustibles diésel es la volatilidad, calidad de ignición viscosidad. El mejor combustible diésel No 1 o conocido como “super diésel” es fabricado a partir de reservas vírgenes con números de cetano sobre 50. Posee un intervalo de ebullición de 360 a 600 °F y se usa en motores muy revolucionado de camiones y autobuses. (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

2.2.4.4 Aceites de calefacción

El consumo de este producto varía en función de la localidad y el clima, son fuelóleos similares al queroseno, pero poseen una fluidez más alta. Sus especificaciones límite son la destilación, el punto de inflamación, el punto de fluidez y el contenido de azufre. Otros productos son mezclas de nafta, diésel, queroseno y aceites cíclicos craqueados. (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

2.2.4.5 Fuelóleos residuales

Está compuesto por las partes más pesadas del crudo y se terminan depositando en los residuos de las columnas de destilación al vacío. Es un producto muy barato y considerado un producto secundario. (Gary y Handwerk, 2020)

2.2.5 Propiedades de los hidrocarburos

Sus características físico – químicas son importante tanto desde su valor económico y energético, como para prever el comportamiento en caso de derrames en el medio y el tiempo que tomara disipar sus efectos (Blanco Ybanez, 2018)

2.2.5.1 Densidad (gravedad específica)

Es el factor más importante para determinar su flotabilidad en el agua, influyendo en la propagación y dispersión natural de la pluma. Este es el reflejo de su composición química y disminuye con la temperatura de su ambiente de origen. Esto significa que los crudos de yacimientos profundos serán más livianos y esto aumenta en función del contenido de hidrocarburos pesados como resinas y asfáltenos. (Blanco Ybanez, 2018)

Hay dos formas de expresar la densidad, en gamos / centímetro cúbico o en grados API (American Petroleum Institute), que es la relación entre el peso específico y su fluidez respecto al agua. Se utiliza la siguiente fórmula (Castañeda y Papacristofilou, 2017)

$$API = \frac{141,5}{densidad \left(\frac{g}{cm^3}\right)} - 131,5$$

A mayor API, menor densidad y significara que contienen un alto porcentaje de hidrocarburos volátiles. Parámetro que indica que la calidad económica del crudo.

- Crudos ligeros: 30° o > 30° API
- Crudos medios: de 22° a 29,9° API
- Crudos pesados: <21,9° API
- Crudos extrapesados: <16° API

El poder calorífico es mayor en crudos ligeros. (Gary y Handwerk, 2020)

2.2.5.2 Punto de ebullición

Es la temperatura a la cual un líquido puro, pasa al estado de vapor en una presión preestablecida en cualquier punto de la masa líquida. En hidrocarburos, el punto de ebullición se incrementa con el número de átomos de carbono que conformen su molécula. (Gary y Handwerk, 2020)

2.2.5.3 Viscosidad

Magnitud física que mide la resistencia interna del flujo de un fluido, esta resistencia es consecuencia del frotamiento producido entre las moléculas cuando se deslizan unas contra otras. Lo contrario a la viscosidad es la fluidez. La viscosidad varía en función de la conformación química del crudo, a mayor concentración de fracciones ligeras, menor será la viscosidad. Esto dependerá también de la temperatura ambiente. Para definir la viscosidad las magnitudes más utilizadas son las siguientes.

- Viscosidad absoluta: Representa la viscosidad dinámica de líquidos, midiéndose por el tiempo que tarda en fluir por un tubo capilar a una determinada temperatura, las unidades son el poise o centiPoise (g/scm).
- Viscosidad Cinemática: Representa las características propias del líquido sin considerar las fuerzas que genera su movimiento, se obtiene dividiendo la viscosidad absoluta para la densidad. La unidad es el Stokes o centiStokes (cm²/s). (Blanco Ybanez, 2018)

2.2.6 Comportamiento de un derrame en el agua

2.2.6.1 Comportamiento del derrame

Cuando ocurre un derrame de hidrocarburos en el mar, se desencadenan cambios progresivos en sus propiedades físico – químicas que modifican las características y comportamientos. Se denomina a estos procesos “meteorización” o “intemperización” mismo que inicia tras el derrame y continua indefinidamente. La tasa de meteorización varía según las características del producto derramado y de las condiciones climáticas en el medio donde se produjo el derrame. Existen factores que afectan el comportamiento de los hidrocarburos y son:

- Características físicas del hidrocarburo
- Composición química del hidrocarburo
- Características del agua (corriente, densidad relativa, presencia de bacterias, temperatura, nutrientes, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión)
- Condiciones meteorológicas del lugar afectado (estado del mar, temperatura del aire, luz solar)

Hay fenómenos que son de gran importancia a la hora de planificar una acción en contra de los derrames y esos son:

- Propagación
- Evaporación
- Disolución
- Dispersión
- Oxidación
- Emulsificación
- Sedimentación biodegradación

(Silos Rodriguez, 2013)

2.2.6.2 Propagación

El primer comportamiento de los hidrocarburos es extenderse formando una mancha uniforme oscura que gradualmente se reduce a finos brillos iridiscentes o plateados en sus bordes. En este punto el factor más importante para considerar el tamaño de la mancha es el volumen de hidrocarburo derramado. La extremada viscosidad de ciertos petróleos y combustibles ayuda a que no se esparzan mucho, permaneciendo como parches redondos de poco brillo. La viscosidad y temperatura del agua en el mar (considerando que si es menor al punto de fluencia dificulta la

propagación) junto a la cantidad o volumen determinan la velocidad de propagación. A las pocas horas, estas manchas se rompen, formando hileras con una separación entre 30 y 50 metros a disposición paralela con la dirección del viento. En este punto son las condiciones meteorológicas y marinas las que condicionan la velocidad de propagación. En los derrames de petróleo o combustibles la producción de emulsiones es rápida, la cual se distingue por una coloración marrón o anaranjada. Esto no ocurre en pequeños derrames con hidrocarburos de alta viscosidad, la propagación no es uniforme y la variación de espesores es grande dentro de la misma mancha de hidrocarburo. La propagación es rápida y alcanza el grosor de equilibrio en alrededor 0,1 mm, que se caracteriza con un color marrón o negro, rodeado de zonas irisadas mayores y de una cola desgarrada formada por gotas elevadas y que caen por acción del viento o la turbulencia. Según el Instituto Americano de Petróleo (API) se puede tener una idea de la relación entre el grosor de hidrocarburo en la mancha y su color, en función de la siguiente tabla. (Blanco Ybanez, 2018).

Tabla 2-4: Relación color de la mancha y su espesor aproximado.

APARIENCIA	ESPESOR APROX (mm)	VOLUMEN APROX (m3/km2)
Apenas visibles	0,00005	0,05
Brillo plateado	0,00010	0,10
Primeras tazas de color	0,00015	0,15
Pocas bandas de colores brillantes	0,00025	0,25
Manchas bandas de colores brillantes	0,00050	0,50
Bandas de colores mates claros	0,00100	1,00
Bandas de colores mates oscuros	0,00200	2,00
Bandas de colores crema claro	0,00500	5,00
Bandas de colores marrón oscuros	0,01000	10,00

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

2.2.6.3 Evaporación

Este proceso físico – químico es muy importante al momento de considerar la evolución de una mancha de hidrocarburos ya que afecta la composición del compuesto derramado, este proceso aumenta su densidad y viscosidad y disminuyendo la solubilidad del agua, esto reduce su toxicidad. La evaporación de los compuestos volátiles hace que el hidrocarburo se haga más pesado y puede llegar a hundirse. Esta tasa de evaporación depende de dos factores.

- Factores referentes al hidrocarburo: Área del derrame, tasa de esparcimiento y espesor de la capa del derrame, tensión de vapor, coeficiente de transferencia de masa.
- Factores ambientales: Temperatura del aire, Estado de la mar, temperatura del agua y radiación solar.

A menor punto de ebullición del hidrocarburo y mayor sea el área de propagación mayor será la tasa de evaporación, el igual que ocurre en condiciones de altas temperaturas y fuertes vientos. Se ha demostrado que el 50% del crudo, llega a perderse por evaporación entre las 24 y 48 horas después del derrame. El margen esta desde el 10% para el fuelóleo pesado hasta el 75% para el fuelóleo liviano, gasolina o queroseno. (Silos Rodriguez, 2013).

2.2.6.4 Dilución

Este es el proceso en el que las fracciones de menor peso molecular del petróleo se diluyen en el volumen de la columna de agua y en los alrededores del derrame, esto depende de los siguientes factores:

- Composición del derrame
- Temperatura del agua
- Tasa de esparcimiento
- Gado de dispersión
- Turbulencias

Este proceso llega a tener una larga duración debido a la progresiva y constante biodegradación y oxidación del petróleo que produce sustancias solubles en agua. Las fracciones más volátiles son las de mayor solubilidad, por esto desaparecerán de la superficie al combinarse los efectos de evaporación y disolución. Ya que esta es de 10 a 100 veces más rápida que la segunda. De acuerdo con el estudio realizado por Mohammad R. Riazi & Ghazi A. Al Enezi (*“Modelling of the rate of oil spill disappearance from seawater for Kuwaiti crude and its products”* - Chemical Engineering Journal, Vol. 73, 1999, Págs. 161 – 172), el comportamiento de un derrame de petróleo o de cualquiera de los productos obtenidos de su refinado en el medio marítimo, está determinado por su extensión, evaporación, dispersión, disolución, emulsificación, sedimentación y algunos otros procesos de degradación como describen J. Kuiper & W.J. Van den Brink (*“Fate and Effects of Oil in Marine Ecosystems”*, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 1987).

Tal vez el proceso más fácil para eliminar derrames de petróleo sería mediante la dispersión y vaporización. Las fracciones ligeras como la gasolina o keroseno se pueden llegar a vaporizar completamente con el tiempo, pero la composición de los crudos contiene muchos compuestos

pesados que no vaporizan por completo y se dispersan en el agua o se hunden hasta el fondo marino. (Silos Rodríguez, 2013).

2.2.6.5 Oxidación

Al existir la combinación del petróleo con oxígeno atmosférico se produce la oxidación que ayuda en la degradación del petróleo derramado. Como esto sucede en la superficie, el efecto se ve aumentado cuando el derrame se dispone en forma de película, este fenómeno es lento en comparación con los anteriores ya que el oxígeno solo penetra un poco a la mancha de petróleo. El proceso de oxidación genera compuestos más solubles que se terminan disolviendo en el agua. La tasa de oxidación depende de varios factores:

- Presencia de sales minerales
- Presencia de metales
- Presencia de compuestos sulfurosos en el petróleo

La acción de los rayos UV de la luz solar produce oxidación fotoquímica que llega a degradar hasta el 1% en función de la intensidad de temperatura. (Velásquez Arias, 2017)

2.2.6.6 Emulsificación

Este proceso describe como un líquido se dispersa en otro en forma de gotitas, como una suspensión. Para el petróleo se llega a formar dos tipos de emulsiones:

- Petróleo en agua
- Agua en petróleo

El oleaje es responsable de este fenómeno, pero sus propiedades son distintas. (Velásquez Arias, 2017)

- Hidrocarburos en agua

Este tipo de emulsiones se dispersan muy rápido por la acción de corrientes marinas y el oleaje. Desde el punto de vista de la degradación de la mancha, la formación de esta emulsión puede ser beneficiosa porque acelera la disolución, biodegradación y Fito-oxidación. Los denominados agentes “de acción superficial” favorecen la formación de estas emulsiones y les da estabilidad, favorecen la dispersión. Cuando faltan, las gotas de hidrocarburo que se forman por el oleaje vuelven a la mancha. (Silos Rodríguez, 2013)

- Agua en hidrocarburos

Esta es la mezcla de agua y petróleo de elevada viscosidad o naturaleza asfáltica. Estos llegan a durar meses después del derrame por su estabilidad. Si el contenido de agua está entre 30 a 50%, la emulsión fluye como petróleo, pero si el contenido de agua está entre 50 a 80% la viscosidad puede ser mayor que el petróleo inicial. Para su formación el estado de la mar es muy importante, con mares calmados el proceso disminuye en gran medida. La formación de emulsiones incrementa el volumen del derrame hasta cinco veces la cantidad derramada y al llegar a zonas costeras se adhiere a la arena o roca, evaporándose el agua y quedando grumos alquitrozos difíciles de limpiar (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.6.7 Sedimentación

Esto ocurre cuando el petróleo derramado se hunde. Esto por dos mecanismos. El primero cuando la acción de los fenómenos meteorológicos y naturales incrementen la densidad respecto al agua, aunque no todos los crudos llegan a aumentar su densidad hasta el punto de hundirse. El segundo cuando las partículas sólidas en la suspensión de la columna de agua se adhieren al petróleo aumentando la densidad. El aumento de la densidad por evaporación solo funciona en agua abiertas, siempre que la densidad sea similar a la del agua de mar, y porque hay pocas partículas suspendidas. Por esto en aguas abiertas ciertos crudos pesados y emulsiones de agua en hidrocarburo son los de fácil hundimiento, porque necesitan pocas partículas para que la densidad supera a la del agua circundante. Pero en zonas cercanas a la costa donde el sedimento suspendido es importante, la tasa de sedimentación aumenta notablemente. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.6.8 Biodegradación

Este proceso es el que finalmente limpia el medio. Es muy lento y lo producen las bacterias marinas, hongos, levaduras y otros microorganismos que usan al petróleo como sustrato, existen más de doscientas especies que pueden degradar hidrocarburos de hasta 40 átomos de carbono.

Los siguientes factores limitan la biodegradación:

- Contenido de nutrientes
- Oxígeno disuelto
- Salinidad
- Temperatura
- Área superficial del derrame
- Tamaño y composición de las poblaciones bacterianas. Esta generalmente es mayor en zonas con contaminación por vertidos y desechos industriales.

En condiciones favorecedoras de oxígeno y temperatura templada, las bacterias llegan a descomponer una cantidad de petróleo de hasta 2 g/m² por día. Tasa que llega a ser poca o nula a temperaturas menores a 10°C. La biodegradación es un proceso de oxidación, el oxígeno es utilizado para metabolizar el crudo, aumentando por acción del oleaje y corrientes que aumentan el oxígeno a la mancha. Se ha estimado que se necesita 400.000 litros de oxígeno disuelto para degradar un litro de petróleo. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.6.9 *Movimiento de las manchas de hidrocarburos*

Toda mancha de hidrocarburo en el mar se mueve por la influencia del viento, oleaje, mareas y corrientes. Es difícil predecir de forma precisa el movimiento de un derrame en el mar, ya que muchos factores influyen, por experiencia algunas características comunes se han demostrado que son:

- Generalmente la parte de la mancha que lleva la dirección del viento tendrá más espesor que la que va en contrario
 - Parar vientos sobre los 16 nudos la mancha se desintegra en manchas más pequeñas y alargadas
 - La velocidad de desplazamiento por el viento depende de la intensidad y espesor de hidrocarburos, pero en aguas abiertas se mueve a un 3,4% de la velocidad del viento a 10 metros de la superficie del mar
 - La variación en dirección e intensidad dificulta la apreciación de mareas y corrientes
- (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.6.10 *Procesos de meteorización y modelado*

Actualmente los avances informáticos permiten desarrollar programas que utilizan complejos modelos matemáticos para ayudar a la predicción del movimiento de los derrames, basándose en las siguientes variables:

- Modelo hidrodinámico de las corrientes marinas
- Vientos imperantes en el lugar de accidente
- Temperatura del agua en el mar
- Tipo de hidrocarburo derramado
- Volumen de hidrocarburo derramado
- Tiempo de duración del derrame

Existen otros modelos que intentan determinar cómo se afecta el derrame con el tiempo en función de la propagación, disolución, evaporación, emulsificación y dispersión, que son los más importantes a la hora de modificar las propiedades de hidrocarburos vertidos. (Silos Rodriguez, 2013).

2.2.7 Planes de contingencia

En toda operación, en especial en casos de emergencia una planificación es una forma de prepararse. La respuesta frente a derrames de hidrocarburos siempre involucra a organismos estatales, medios de diversa índole y recursos humanos. De esta manera por dar un ejemplo, en el caso de un siniestro de un buque petrolero, se efectuará operaciones de búsqueda, aligeramiento de la carga, salvamento marítimo, rescate de personas, remolque, contingencia de incendios, finalmente lucha contra la contaminación y limpieza. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.8 Contención de los hidrocarburos

Cuando ocurre un derrame, se deben tomar medidas para reducir al máximo los daños de contaminación contra el medio ambiente y recursos. Los hidrocarburos al ingresar en un medio acuático se extienden formando una película superficial, la limpieza de esta película es difícil. Además, los efectos de corrientes y vientos desplazan la mancha llegando a alcanzar zonas críticas. Por esto la contención es fundamental pero las condiciones meteorológicas pueden complicarlo.

La contención tiene tres propósitos:

- Mantener el derrame en un punto determinado
- Mantener el derrame lejos de un área determinada
- Dirigir el derrame a un punto específico

Para cumplir con esto es necesario de técnicas y equipos cuya eficiencia dependerá tanto del tipo de derrame como la ubicación y condiciones ambientales del medio.

Al referirse al tipo de derrame se debe considerar si la descarga es única, múltiple o continua, desde plataformas, buque o perforación.

Para la ubicación se debe considerar si ocurrió en bahía de agua someras, estuarios o alta mar, de igual manera la cercanía a áreas sensibles.

En cuanto a las condiciones ambientales características como el viento, corrientes, oleaje, temperatura, entre muchas otras.

Para la contención se aplican generalmente tres métodos:

- Barreras mecánicas
- Barreras neumáticas
- Barreras químicas

Se debe considerar que la contención de hidrocarburos es una fase de todo el proceso de enmienda, pero se la entiende como la más importante de toda la operación. Pero no es el único método y puede trabajar simultáneamente con otras. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.8.1 Barreras de contención.

Las barreras se pueden aplicar de distintas maneras con distintos objetivos como:

- Uso inmediato de la barrera para impedir que la descarga inicial se propague
- Detener la propagación tanto de descargas continuas y de las posteriores
- Contener a los hidrocarburos para su recuperación
- Protección de zonas sensibles antes de la llegada de los contaminantes
- Desviar las manchas de los recursos y zonas sensibles
- Conducir las manchas a zonas donde se puedan recuperar con más facilidad

Lo más importante en una barrera es la capacidad de contención o deflexión del petróleo lo cual se determina por su comportamiento en relación con el agua. Debe tener una adaptabilidad al movimiento de las olas y a la vez ser rígido para retener tanto petróleo como sea posible.

Uno de los limitantes en las barreras es su retención a velocidades superiores a un nudo (0,5 m/s). Su eficiencia se limita a la velocidad máxima del agua que es de 0,7 nudos. Además, se debe considerar la influencia de las olas y el viento en las velocidades del agua.

Otro punto para considerar es la longitud y tamaño de cada elemento del cerco, el tamaño óptimo depende del estado del mar al momento de su uso. Obligatoriamente se elige una altura mínima de borda que impida que el petróleo encerrado se desborde.

Los cercos divididos por secciones pequeñas son más fáciles de usar y garantiza una restauración del cerco si llega a fallar una sección, aunque existe la dificultad de ensamblar muchas secciones por ello se debe calcular bien la disposición de cada sección. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.9 Contención de derrames en tierra y ríos

2.2.9.1 Penetración de los hidrocarburos en tierra

La saturación residual o capacidad de retención es la cantidad mínima de fluido presente en un medio poroso, necesario para que se considere como una fase continua. Se mide en litros sobre metros cúbicos. Para calcular la profundidad máxima de penetración se aplica la siguiente fórmula.

$$D = \frac{Vx1000}{AxRxK}$$

D = profundidad máxima de penetración (m)

V = Volumen de petróleo derramado (m³)

A = Área de infiltración (m²)

R = Capacidad de retención del suelo (L/m³)

K = Factor de corrección aproximado, este varía en función de la viscosidad del hidrocarburo

Tabla 2-5: Valores de K.

TIPO DE CRUDO	FACTOR DE CORRECCIÓN (K)
Baja viscosidad (gasolina)	1,5
Gasoil, keroseno y similares	1,0
Combustibles livianos	2,0

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

Este valor aumenta exponencialmente en hidrocarburos de viscosidad muy alta y asfáltenos

Para el tipo de suelo se tienen los valores:

Tabla 2-6: Capacidad de retención del suelo.

TIPO DE SUELO	TEXTURA
Arena muy gruesa	2 -1
Arena gruesa	1 – 0,5
Arena mediana	0,5 – 0,25
Arena fina	0,25 – 0,1
Arena muy fina	0,1 – 0,05
Limo	0,05 – 0,002

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

El comportamiento de los suelos generalmente frente a derrames es:

En suelos con actividad agrícola, el petróleo satura los 10 a 20 cm superiores independientemente de la profundidad de penetración

La penetración es mayor en áreas de acumulación de petróleo en piscinas naturales sobre una depresión seca, si existe agua en el subsuelo de la depresión, este no penetra del todo

El petróleo migra a lo largo de los terrenos con relleno artificial, ya que el relleno es material más permeable que el suelo removido

Si el volumen derramado es pequeño y el nivel freático está bajo, el petróleo se retendrá sin alcanzar este nivel. Pero en época lluviosa su filtración puede provocar movimiento hacia abajo, principalmente las fracciones solubles.

La variación de permeabilidad que presenta el suelo provoca variaciones en los patrones de esparcimiento. Entre el 40 a 70% de la extensión final del esparcimiento tras las primeras 24 horas posterior al derrame, y del 60 al 90% en la primera semana.

El proceso se puede prolongar por mucho tiempo, pero el suelo se satura parando el proceso, los movimientos posteriores serán producto de las corrientes subterráneas o la lluvia. (Silos Rodríguez, 2013)

2.2.9.2 El petróleo en las aguas subterráneas

El petróleo que alcanza las aguas subterráneas por filtración se extiende dentro del nivel de capilaridad formando una capa con espesores variables y va aumentando contantemente con la filtración del petróleo ejerciendo una presión hidrostática sobre el nivel freático, provocando que el petróleo se mueva a la misma dirección que las agua subterráneas por acción de la gravedad. El máximo esparcimiento sobre aguas subterráneas se puede estimar mediante la formula:

$$S = \frac{1000 \times V - (A \times R \times d \times k)}{F}$$

Donde:

S = Máximo esparcimiento de petróleo (m²)

V = Volumen del petróleo derramado (m³)

A = Área de filtración medida en la superficie (m²)

R = Capacidad de retención sobre el margen de capilaridad (L/m²)

F = petróleo retenido sobre el marguen de capilaridad (L/m²)

k = Factor de corrección, varía por la viscosidad del petróleo

Tabla 2-7: Petróleo retenido sobre el margen de capilaridad por tipo de suelo y valores F.

TIPO DE SUELO	VALORES F (L/m ²)
Piedra / grava de cuarzo	5
Arena gruesa	8
Arena mediana	12
Arena fina	20
Sedimentos	40

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

Para la evaluación de la infiltración se debe considerar que:

La determinación de la profundidad de la capa freática indica si el hidrocarburo alcanzara el nivel o el margen de capilaridad. Para estimar lo niveles de penetración del hidrocarburo conviene excavar un pozo de prueba. Para proteger las aguas subterráneas y evitar la perforación de los niveles impermeables solo se debe excavar estrictamente lo necesario. El nivel hidrostático es importante para confirmar la dirección y situación de las aguas subterráneas. El uso de trazadores no tóxicos y solubles en agua deben ser usados y se inyectaran en distintos puntos del área de derrame (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.9.3 Derrames de petróleo en ríos

En este tipo de derrames actúan los mismos factores que interfieren en los derrames del mar más los propios presentes en los ríos, estos serían el régimen hidrológico que modificará la velocidad de las corrientes y la forma en que el derrame afectara los márgenes del río y zona de inundaciones. Este factor tiene efectos muy importantes desde el punto de vista ambiental del derrame, y dependiendo de la estación del año el más preciso época seca o húmeda, las aguas se encontrará altas, en transición de altas a bajas o viceversa, o en aguas bajas. (Silos Rodriguez, 2013)

Entre las épocas del año más daño ambiental existirá en aguas bajas porque el petróleo quedará depositado en zonas de inundación o en la vegetación de riberas de río. Pero por estas bajadas de las aguas es posible efectuar tareas de contención si el lugar es accesible. En épocas de transición de aguas altas, el hidrocarburo que se ha adherido en los márgenes eliminados por el aumento de la corriente, siendo la época de menor impacto ambiental, la operación de control se acompleja. En tiempos de aguas altas, cuando el río tiene la mayor capacidad de transporte, se observa que la concentración del hidrocarburo en el mismo sitio es la más baja, pero puede alcanzar grandes

extensiones dentro de las zonas de inundación y al mismo tiempo las operación de control son muy difíciles por las fuertes corrientes de las superficie. (Silos Rodriguez, 2013)

Si el derrame se efectúa en el mar, cerca de desembocaduras o estuarios. La corriente tendera a frenar el hidrocarburo, evitando su penetración en el río, ya que el flujo del agua de mar es más denso, entra en el estuario en forma de cuña salina debajo del agua dulce superficial. Las características generales para destacar entre las más comunes de derrames en ríos son:

- La corta persistencia en el mismo sitio, provocado por la corriente fluvial, por esto el impacto ambiental se materializa sobre la vegetación de las márgenes y en la acumulación que se da en zonas de remanso fuera del flujo principal.
- Rápida recuperación natural con el mínimo impacto a largo plazo, por las corrientes, inundaciones y mareas.
- La mayoría de los derrames, menos cuando se retienen cerca de sus fuentes de origen, se esparcirán rápidamente formando la película delgada.
- La conducta del petróleo en el agua se influencia por la composición química y por efecto de la turbulencia fluvial, llegando a formar emulsiones de agua e hidrocarburo.
- En ríos de agua protegidas del viento por la vegetación presente, el hidrocarburo fluye con la velocidad de la corriente superficial. En casos opuestos se moverán según el resultado de ambos factores, aunque si el viento esta contra la corriente el efecto no es sustractivo ya que el viento tiene un mayo efecto.

(Silos Rodriguez, 2013)

2.2.9.4 Métodos de contención de los derrames en ríos

Su efectividad depende de la velocidad de la corriente y el tamaño del curso de agua del lugar donde se realizan las operaciones de contención.

1. Si el derrame ocurre en cursos de agua de poca profundidad, estos deben ser contenidos o represados con el objetivo de concentrar el petróleo y para dar al agua la profundidad suficiente para que los equipos mecánicos recolectores sean efectivos. Para realizar la contención serán la altura de los márgenes y la profundidad del agua los factores más relevantes.
2. Las barreras se deben colocar en el punto más bajo de velocidad de corriente. Se debe tener en cuenta que los pilares de un puente, aun cuando parezcan útiles para la instalación, no es conveniente colocarlos debajo de estos ya que estos pilares aumentan la velocidad del agua por la turbulencia.

3. Si el derrame que se produce es muy grande en cursos de agua rápidos se debe colocar varias barreras. La distancia entre cada barrera debe ser el necesario para que las gotas de petróleo que sortearon la anterior salgan a la superficie antes de alcanzar la siguiente.

4. Es indispensable realizar las conexiones de las secciones de la barrera en tierra

5. Se deben tener en cuenta al momento es escoger el sitio óptimo de despliegue, los siguientes factores:

- Fácil acceso
- Velocidad de corriente muy bajo en los márgenes
- Suficiente profundidad para que los mecanismos sean efectivos, lo más efectivo es en partes anchas ya que la corriente disminuye.

(Silos Rodriguez, 2013)

2.2.10 Sorbentes

Los sorbentes son materiales o una mezcla de materiales que se usan para remover líquidos mediante mecanismos de absorción, adsorción o ambos. Durante la adsorción el sorbato se distribuye en la superficie del material, este mecanismo es solo superficial, en la adsorción la sustancia se incorpora en el material, es decir, termina formando parte de su volumen, por ello se lo describe como un fenómeno volumétrico. El uso de sorbentes es útil para alcanzar áreas en donde no se pueden aplicar barreras o *skimmers*. (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

2.2.10.1 Sorbentes de hidrocarburos

Los sorbentes de hidrocarburos se compone de una gran variedad de productos destinados a sorber los hidrocarburos en lugar del agua. Se pueden emplear como alternativa en casos como pequeñas manchas cuando la recuperación convencional por mecanismos no es posible. La capacidad o eficiencia de los distintos materiales dependerá de sus naturales y de la superficie disponible, esta superficie debe ser hidrofóbica y oleofílica. En el caso de destilados de petróleo como gasolina, queroseno y gasoil, se recomienda sorbentes de gran capacidad de retención en volumen en sus poros y para productos de alta viscosidad como aceites lubricantes y petróleo se recomienda materiales adsorbentes (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.10.2 Clasificación de los sorbentes

Los sorbentes se los puede clasificar de forma general en tres grupos:

- Naturales orgánicos ejemplos de estos tenemos la paja, el aserrín, algodón, pulpas, bagazo, cascarilla de trigo o fibra de coco, este grupo se caracteriza por su bajo precio, su alta

disponibilidad y que su capacidad de retención es de 3 a 15 veces su peso en hidrocarburos, pero con la retención de agua característica que resulta no beneficiosa,

➤ Naturales inorgánicos como ejemplo se puede mencionar a la arcilla, vermiculita, perlita, lana, arena y ceniza volcánica, su retención es de 4 a 20 veces su peso en hidrocarburo, también son económicos y de disponibilidad abundante y

➤ Sintéticos los cuales son fabricados como el nylon, poliuretano o polietileno, en su mayoría retienen hasta 70 veces su peso en hidrocarburos y presentan la característica de tras una limpieza, ser reutilizados, como desventajas tenemos su origen xenobiótico que dificulta su biodegradabilidad y almacenamiento antes de su disposición final. (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

Tabla 2-8: Propiedades generales de los sorbentes más utilizados.

SORBENTE	Capacidad máxima de adsorciones hidrocarburo g/g de sorbente		Flotabilidad después de su contacto con hidrocarburos sobre el agua
	Hidrocarburos de alta viscosidad	Hidrocarburos de baja viscosidad	
Inorgánico			
Vermiculita	4	3	Se hunde
Cenizas volcánicas	20	6	Flota
Lana de vidrio	4	3	Flota
Orgánico natural			
Mazorca de maíz	6	5	Se hunde
Cascara de cacahuete	5	2	Se hunde
Fibra de secoya	12	6	Se hunde
Paja de trigo	6	2	Se hunde
Musgo de turbera	4	7	Se hunde
Fibra de madera	18	10	Se hunde

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

Otra clasificación más específica que se les da a los materiales sorbentes de hidrocarburos es:

➤ Materiales inorgánicos sólidos no porosos adsorbentes, con o sin tratamiento con sustancias oleofílica

➤ Materiales inorgánicos porosos absorbentes, con o sin tratamiento con sustancias oleofílica

➤ Materiales orgánicos absorbentes, con estructura porosa o fibrosa y propiedades oleofílica

- Materiales poliméricos sintéticos (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.10.3 *Propiedades de un sorbente*

Para que un sorbente se pueda utilizar como enmienda en los derrames de hidrocarburos debe tener las siguientes propiedades:

- Alta capacidad de adsorción para distintos hidrocarburos
- Alta hidrofobicidad
- Alta retención
- Una gravedad específica que permita al momento de sorber al hidrocarburo mantenerse a flote
- Resistencia mecánica a la compresión, para evitar que el petróleo se derrame durante la recuperación del sorbente
- Fácil reutilización o eliminación

(Ortiz Gonzales et al., 2006)

2.2.11 *Clases de sorbentes*

2.2.11.1 *Materiales adsorbentes inorgánicos sólidos*

Los adsorbentes inorgánicos sólidos más clásicos son el talco y otros productos de sílice, estos poseen un tamaño de partícula muy pequeño por esto poseen una amplia superficie de adsorción. El talco natural no tratado se usa en la pre-limpieza de playas y el talco tratado se puede usar sobre el agua, este material absorbe hasta 60 partes de peso de petróleo por cada 100 partes de peso de talco, pero su retirada con mucha dificultad. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.11.2 *Materiales absorbentes inorgánicos porosos*

La perlita, lana mineral, fibra de vidrio, vermiculita son claros ejemplos de estos materiales, de efectividad menor en petróleos viscosos e intemperizados sobre hidrocarburos livianos (Elizaveta y Maria, 2021)

2.2.11.3 *Materiales absorbentes orgánicos naturales*

Citando los más comunes tenemos el algodón, el aserrín, la turba, papel y heno, estos han sido usados para retirar petróleo en playas y agua. De todos ellos el heno ha sido el más común por su bajo precio y carácter inocuo para la biota marina. Este presenta poros, baja densidad y absorbe de 8 a 30 veces su peso en petróleo. Su desventaja es la capacidad de absorber en agua y tiene a

hundirse luego de atrapar al hidrocarburo también su recolección es difícil (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

2.2.11.4 *Materiales absorbentes poliméricos sintéticos*

Materiales como la espuma poliuretano y polietileno o fibras de polipropileno u otros polímeros sintéticos son los de uso más frecuente como sorbentes de hidrocarburos. Las espumas tienden a absorber hasta 50 veces su peso. Son materiales naturales que pueden ser reutilizados y esparcidos en forma de trozos grandes o tiras siendo fáciles de recoger. Su uso más normal es en barreras absorbentes como fregadoras de cuerdas que consiste en una cuerda sin fin de espuma o fibra que pasa continuamente por la mancha y el hidrocarburo absorbido es removido de la cuerda exprimiéndola. Otros mecanismos utilizan fibras de propileno dentro de una red, se conoce que una cuerda con 5 cm de diámetro y 20 metros de largo puede remover 50 toneladas de petróleo al día. (Ortiz Gonzales et al., 2006)

2.2.12 *Control de un derrame de petróleo con sorbentes*

Para usar sorbentes en la recolección de hidrocarburos se deben considerar las siguientes etapas:

- El transporte y aplicación del sorbente en el derrame
- La adsorción y absorción del hidrocarburo en el material con el tiempo de contacto necesario para la eficiencia del proceso
- La extracción del material sorbente empapado de hidrocarburo y su remoción de agua o playa
- Tratamiento final del material sorbente y del hidrocarburo recuperado

(Silos Rodriguez, 2013)

2.2.13 *Ventajas de la utilización de sorbentes*

El método se considera como secundario y las ventajas que presenta son la aparente baja toxicidad, se puede aplicar sin importar el espesor de la mancha, reduce la extensión del derrame, su uso y disponibilidad es favorable y es útil en zonas donde el derrame es pequeño y peligro la ecología del sitio por uso de otros métodos. (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018). Otras ventajas que se tienen al momento de aplicar sorbentes sobre suelos contaminados con hidrocarburos es que ayudan a mantener el pH neutro, aumenta la humedad y disminuye la Fito toxicología de la zona tratada, lo que tiene efectos positivos en la microbiota encargada de degradar hidrocarburos. (Elizaveta y Maria, 2021)

2.2.13.1 *Desventajas de la utilización de sorbentes*

La principal en el caso de aplicar sorbentes sintéticos que son los más útiles es su elevado costo, solo son efectivos con hidrocarburos de baja y media viscosidad, su uso requiere muchas fases, se necesitan de los otros mecanismos para su recolección, dependen de las condiciones meteorológicas y los costos de su aplicación y extracción. Se puede decir que su aplicación no es útil por las siguientes razones: Se necesita de un gran volumen de sorbente y se asocian los problemas de distribución y logística, no se pueden extender en grandes áreas, las condiciones del mar y viento afectan su uso, no existen medios efectivos para extraer grandes volúmenes de sorbentes. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.14 *Limitaciones al uso de los sorbentes*

Los siguientes factores influyen en el uso de sorbentes:

1. El tipo de hidrocarburo, por las características fisicoquímicas los sorbentes tienen mayor afinidad a aquellos que tienen viscosidad media y baja
2. Temperatura ambiental, influye en la viscosidad del hidrocarburo que cambia con esta, estos cambios pueden afectar drásticamente la efectividad de sorbentes teóricamente útiles
3. El tiempo de contacto entre el hidrocarburo y el material sorbente es de los parámetros más determinantes en el grado de eficiencia, a mayor tiempo de contacto mayor cantidad absorbida, aunque esto no es una función lineal
4. Tiempo, cuando el derrame se expone por mucho tiempo a las condiciones atmosféricas al punto de producirse emulsiones, los sorbentes pierden gran parte de la eficiencia
5. Efecto del agua, ya que la mayoría de los sorbentes absorben agua.

(Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

2.2.15 *Aplicaciones generales*

Tabla 2-9: Aplicación de los distintos tipos de sorbentes y partículas.

Forma del sorbente	Aplicación
Almohadillas en cuadrados o tiras	Usados en zonas confinadas para recolección de pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros, el tiempo es considerable para aumentar la eficacia. No es aconsejado en aguas abiertas por la fragmentación de las manchas de petróleo y dispersión por amplias zonas bajando el contacto. El contacto con los hidrocarburos flotantes tiende a recubrirse de estos y

	disminuye su adsorción a menos que se traten de hidrocarburos ligeros. Se pueden desplegar desde barcos y en poco tiempo una gran cantidad de estos, cubriendo grandes distancias con el peligro de que lleguen a zonas no contaminadas
Rollos	Se pueden adaptar a distintas longitudes. Son útiles en la protección de pasarelas, cubiertas de botes, zonas de trabajo limpias y sin contaminación. Pueden enrollarse con facilidad y retirarse.
Almohadas	Aplicados para recoger pequeños derrames en zonas costeras, se fabrican con suelo dentro de una capsula o malla, son fáciles de recuperar a comparación del material suelto
Cepos (madejas o cuerdas fregadoras)	Compuestas de tiras de polipropileno unidas y atadas por un cable, su aplicación puede ser individual o asegurando un cabo a intervalos regulares cubriendo una gran extensión. Son muy útiles con los hidrocarburos pesados y viscosos
Barreras	Su efecto es doble ya que tiene la función de absorber y contener, pero solo es útil en aguas calmadas, la alta compresión del material y su envoltura en mallas ayuda a disminuir la penetración del hidrocarburo. Los hidrocarburos pesados recubren la superficie y disminuye la penetración
Materiales sueltos	No se recomiendan en derrames que ocurren en el agua, aunque se han usado exitosamente materiales orgánicos para la estabilización de los hidrocarburos varados en lugares remotos e inaccesibles

Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos

Realizado por: Silos Rodríguez, José María, 2013

Sabiendo que la aplicación de sorbentes se ve influenciado por factores ya expuestos, se debe considerar el tipo de hidrocarburo y su naturaleza con la naturaleza del sorbente, condiciones meteorológicas y todas las actividades de su uso. Su principal uso se destina a pequeños derrames en bahías, estuarios o zonas confinadas de aguas tranquilas y corrientes mínimas. El uso de barreras confina al hidrocarburo y limita el área de trabajo y también tienen gran importancia donde el uso de dispersantes no se aconseja por efectos ecológicos. (Silos Rodriguez, 2013)

2.2.16 Queratina

El termino queratina se asocia a proteínas insolubles con una alta concentración de cisteína, entre el 7 al 20% del total de residuos de aminoácidos, que se forman inter e intra. -enlaces disulfuro moleculares. Estas proteínas están presentes en los tejidos epidérmicos de animales vertebrados,

como en su cabello, cuernos, uñas, pezuñas, plumas o garras. Por ende, los biomateriales queratósicos son de naturaleza diversa (S.Kokot y Queensland University of Technology, 2001).

Esta proteína se considera el biopolímero proteico con más presencia comercial del mundo. Por su amplia presencia en las células epiteliales. (Varma y Gopi, 2021).

Las queratinas desempeñan funciones importantes en el funcionamiento biológico de las células. A parte de brindar soporte mecánico intracelular, participan en varios procesos celulares, aporta en la estructura de apéndices duros y fuertes como plumas, uñas y otros. (Singh, Wang y Ng, 2017)

2.2.16.1 *Clasificación de la queratina en tejidos*

Las queratinas existen en diferentes formas como α -queratina y β -queratina. La queratina α se la puede encontrar en tejidos blandos como la piel y lana mientras que la queratina β está en tejidos duros como las plumas, garras, pezuñas y plumas de aves. (Varma y Gopi, 2021)

En función de la composición de aminoácidos, se caracterizan por la cantidad presente de cisteína que contienen funcionalidad tiol y con la capacidad de formar enlaces disulfuro, por esta razón la quema de cabello genera vapores nocivos producido por la reacción gaseosa de la combustión. (Love, 2017)

Otra denominación que tienen es queratina tipo I (ácida) y queratina tipo II (básica). Las queratinas duras tienen un 5% de azufre y se clasifican en Ia (ácido-duro) y IIa (básico-duro), mientras las queratinas blandas poseen un 1% de azufre y se clasifican en Ib (ácidas-suaves) y IIb (básicas-suaves), esta clasificación dependerá de la composición, distribución y funciones principales del aminoácido.(Costa, Silva y Boccaccini, 2018)

2.2.16.2 *Aislamiento de la queratina*

Por mucho tiempo los científicos han desarrollado diversas formas de solubilizar las estructuras duras, generando formas de reensamblar las queratinas desde un enfoque ascendente, así se ha llegado a proponer una gran variedad de técnicas de extracción, ambientalmente se propone un enfoque descendente con el reciclaje de biorresiduos queratinosos de origen animal, por medio de productos basados en queratina de gran valor, estrategia altamente ecológica y sostenible (Singh, Wang y Ng, 2017) Para su aislación normalmente a la biomasa se la somete a hidrolización con ácido, álcali o enzima para aislar la queratina. (Varma y Gopi, 2021).

2.2.17 Plumas

Las plumas se consideran como los desechos biológicos generados que más se generan en la industria local por el proceso de aves de corral, para el manejo de estos desechos se aplican técnicas de vapor o tratamientos químicos para producir harina de plumas. Otras formas de aprovecharlas sin someterlas a un tratamiento es como fertilizantes o se disponen a vertederos (Kumar, Kumar y Kushwaha, 2021)

Estos residuos son un subproducto único con una gran variedad de aplicaciones como compuestos, fibras, andamios de ingeniería de tejidos y otros. Pese a su bajo costo, abundante disponibilidad, amplia aplicabilidad y propiedades únicas sus aplicaciones industriales son muy limitadas por factores como la mala termoelasticidad, dificultad para disolver y conocimientos limitados de procesamientos y propiedades de productos desarrollados. Pero por el creciente interés por desarrollar materias primas renovables y sostenibles y la necesidad de disminuir el uso de hidrocarburos convierte a las plumas en una materia prima atractiva (Reddy y Santosh, 2016)

2.2.18 Estructura y propiedades de plumas y queratina

Las plumas se clasifican generalmente en penaceas o plumuláceas esto según su posición en el cuerpo del ave. Las penaceas distalmente y las plúmulas próximas al cuerpo, también las plumas se dividen en raquis, púas, barbuls y calamo. Estudios han demostrado que la superficie interna de la hoja contiene un alta concentración de materiales hidrofóbicos y la parte exterior están cargados de cisteína. Genéticamente se han identificado hasta 149 genes de β -queratina y alrededor de 33 α -queratina. (Reddy y Santosh, 2016)

Es una estructura epidérmicas conformada por un eje central denominado raquis con estructuras más suaves en cada lado y con ramas laterales que se llaman barbas. Presentan el 83% de proteínas en la cual la queratina presenta del 85 al 90% de la estructura proteica de las plumas. (Florida Rofner, 2019)

2.2.18.1 Extracción de queratina de plumas

La queratina se puede extraer de las plumas mediante la hendidura de los enlaces de disulfuro intra- e intermoleculares y los enlaces de hidrógeno por reducción, oxidación, sulfólisis y tratamientos enzimáticos, físicos y químicos. Para la extracción química se utilizan productos tóxicos y de alto precio que terminan destruyendo aminoácidos vitales, también requiere varios pasos de extracción. Como alternativa a estos tratamientos se ha usado técnicas enzimáticas con queratinasas y extracción con agua caliente. (Reddy y Santosh, 2016)

2.2.18.2 *Extracción enzimática*

Este es un tipo de extracción aplicando enzimas, para ello las plumas deben ser lavadas con detergente no iónico y carbonato de calcio, posterior se aplican proteasas comerciales con o sin agente reductor, al aumentar tensoactivo y la concentración de enzimas conduce a un aumento de la actividad de la enzima, pero el agente reductor disminuye la actividad, el tiempo de hidrolisis es de 4 horas para aumentar la cantidad de proteína extraída, también la aplicación de enzimas *Serratia sp.* HPC 1283, aislada y usada para disolver plumas se obtenía una solubilización del 83,6% de plumas. (Reddy y Santosh, 2016)

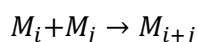
2.2.18.3 *Extracción química*

Para esto se utilizan varios agentes reductores como tioglicolato, cianuro de potasio o sulfuro de sodio este último otorga un rendimiento del 50% siendo altamente efectivo para la extracción de queratina de plumas con la ventaja de que el agente reductor se oxida y se elimina generando una queratina libre de residuos químicos, para esto se tratan las plumas con el sulfuro de sodio en atmosfera de nitrógeno a 30 °C durante una hora esto otorga películas de queratina con excelentes propiedades mecánicas adecuadas para uso industrial. (Reddy y Santosh, 2016)

2.2.19 *Policondensación*

Este tipo de reacciones están constituidas por la unión de moléculas polifuncionales por reacciones similares de amidación o esterificación, generalmente. Se producen con la eliminación de una molécula, que normalmente es de agua.

Estas reacciones se efectúan por calentamiento o por acción de catalizadores aplicados para reacciones análogas entre moléculas funcionales. Consisten en varias reacciones en cadena en crecimiento y una molécula pequeña, o también entre dos moléculas en crecimiento, se lo puede representar de la siguiente manera:



Existe una variación de i y j que va desde unidades a valores grandes

Se puede decir que más que una reacción de policondensación son reacciones en cadena que se desarrollan muy rápido reaccionando por etapas en donde las moléculas crecen a la par y progresivamente. (Uribe Velasco, 2010)

2.2.20 Poliamidas

Las poliamidas (PA) son polímeros orgánicos que contienen grupos amida comunes (R-CO-NH-R') en su cadena polimérica principal, altamente versátiles por su factibilidad de síntesis con buenas propiedades mecánicas y térmicas. Son polímeros formados por policondensación que se forman a partir de un solo monómero que puede ser aminoácido o alguno de sus derivados o también poliamidas AB. Existen poliamidas naturales y sintéticas. (Silva, Cavaco-Paulo y Nierstrasz, 2010)

2.2.21 Método ASTM F276-12

Este método está diseñado para ensayos de laboratorio destinados a evaluar y describir el desempeño de sorbentes en la remoción de hidrocarburos no emulsionados y otros líquidos flotantes e inmiscibles de la superficie del agua (International ASTM, 2012)

2.2.22 Tipos de adsorbentes

Adsorbente tipo I (rollo, película, lamina, almohadilla, manta, tela): materiales con longitud y ancho superiores al espesor de forma lineal y de resistencia suficiente para manipular saturados y no saturado

Adsorbente tipo II (suelto) material particulado no consolidado sin resistencia y sin forma suficiente que permita su manipulación a menos que se use palas o equipos similares

Adsorbente tipo III (Cerrado) almohadillas, material adsorbente dentro de una red o tela exteriores con permeabilidad al aceite, pero con aberturas capaces de retener el material adsorbente dentro de la red o tela. (International ASTM, 2012)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

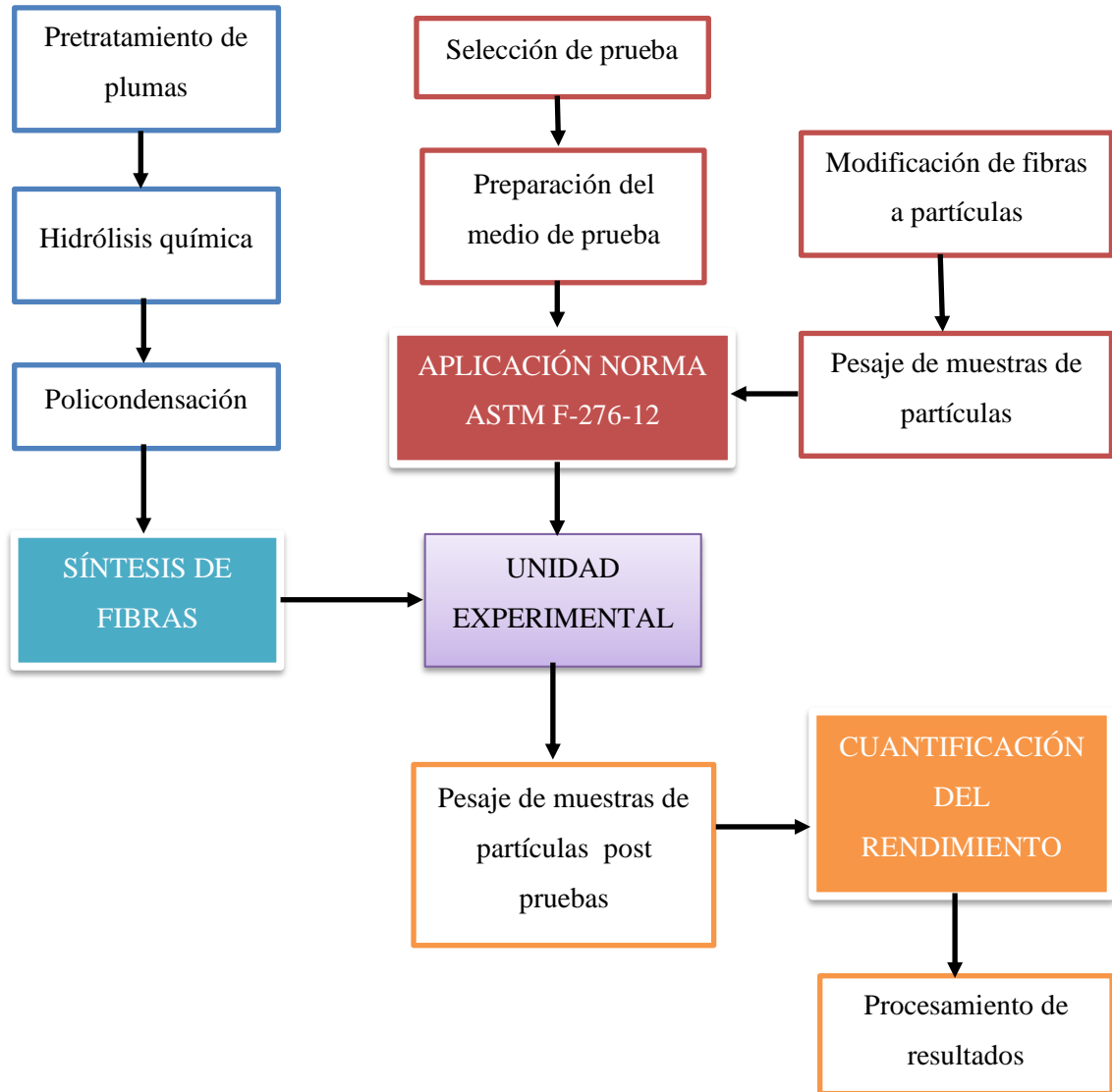


Ilustración 3-1: Metodología por aplicar.

Realizado por: Lozano, Alexander, 2023

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada en este trabajo es de tipo exploratoria y descriptiva ya que se estudió la correlación para la primera etapa de policondensación entre el ácido dicarboxílico aplicado y la temperatura del proceso y para la segunda etapa entre el tipo de partícula y su capacidad de adsorbancia.

El diseño de la investigación fue de tipo experimental, en cuyas unidades de análisis también llamadas unidades experimentales se aplicó para la fase de hidrólisis, los parámetros sugeridos para los procesos de hidrólisis de tejidos, para la policondensación, los parámetros sugeridos en la policondensación de queratina y para la etapa de evaluación de capacidad adsorbente, la normativa ASTM F-726-12 que es el método estándar para el rendimiento sorbente de adsorbentes.

3.2 Población de estudio

La población de estudio en el trabajo de investigación fue para la etapa de policondensación la cantidad de fibras formadas por aplicación de ácido adípico y ácido oxálico en diferentes concentraciones a distintas temperaturas y para la etapa de evaluación de adsorción, las fibras de queratina sintéticas adaptadas para ser partículas de *tipo II* y *tipo III*, en base a la norma ASTM F-726-12.

3.2.1 Tamaño de la muestra

3.2.1.1 Etapa de policondensación

Para la etapa de policondensación se trabajó con dos tipos de ácidos dicarboxílicos: ácido adípico (A) y ácido oxálico (O) a diferentes concentraciones: 1% (C₁) y al 10% (C₃), para el ácido adípico se trabajó con una tercera concentración al 5% (C₂). Con dos distintas temperaturas: 35 °C (T₁) y 80 °C (T₂) con agitación a bajas revoluciones hasta observar cambios en la queratina líquida. Se realizaron tres repeticiones para cada nivel.

Tabla 3-1: Codificación de unidades experimentales, etapa de policondensación.

	Concentración	Temperatura	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Ácido adípico	1 %	35 °C	A ₁ C ₁ T ₁	A ₂ C ₁ T ₁	A ₃ C ₁ T ₁
		80 °C	A ₁ C ₁ T ₂	A ₂ C ₁ T ₂	A ₃ C ₁ T ₂
	5%	35 °C	A ₁ C ₂ T ₁	A ₂ C ₂ T ₁	A ₃ C ₂ T ₁
		80 °C	A ₁ C ₂ T ₂	A ₂ C ₂ T ₂	A ₃ C ₂ T ₂
	10 %	35 °C	A ₁ C ₃ T ₁	A ₂ C ₃ T ₁	A ₃ C ₃ T ₁
		80 °C	A ₁ C ₃ T ₂	A ₂ C ₃ T ₂	A ₃ C ₃ T ₂
Acido oxálico	1 %	35 °C	O ₁ C ₁ T ₁	O ₂ C ₁ T ₁	O ₃ C ₁ T ₁
		80 °C	O ₁ C ₁ T ₂	O ₂ C ₁ T ₂	O ₃ C ₁ T ₂
	10 %	35 °C	O ₁ C ₃ T ₁	O ₂ C ₃ T ₁	O ₃ C ₃ T ₁

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

3.2.1.2 Etapa de evaluación de capacidad adsorbente.

Para la etapa de evaluación de adsorción se trabajó con las fibras de queratina como adsorbente, modificada en dos tipos de partículas *tipo II* (P1) y *tipo III* (P2). Sometidas a dos tipos de pruebas: prueba de adsorción corta (C) y prueba de adsorción larga (L), cada una con dos tipos de hidrocarburos: Aceite SAE 10W30 (A) y Diesel comercial (D) en cada prueba se realizó 3 repeticiones dando un total de 24 unidades experimentales.

Tabla 3-2: Codificación de unidades experimentales para la etapa evaluación de absorción.

Partícula	Medio de prueba	Tipo De Prueba	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3		
Fibras de queratina	Tipo II	Aceite SAE	Corta	P ₁ A ₁ C ₁	P ₁ A ₁ C ₂	P ₁ A ₁ C ₃	
		10W30	Larga	P ₁ A ₁ L ₁	P ₁ A ₁ L ₂	P ₁ A ₁ L ₃	
		Diesel	Corta	P ₁ D ₁ C ₁	P ₁ D ₁ C ₂	P ₁ D ₁ C ₃	
			Larga	P ₁ D ₁ L ₁	P ₁ D ₁ L ₂	P ₁ D ₁ L ₃	
		Tipo III	Aceite SAE	Corta	P ₂ A ₁ C ₁	P ₂ A ₁ C ₂	P ₂ A ₁ C ₃
			10W30	Larga	P ₂ A ₁ L ₁	P ₂ A ₁ L ₂	P ₂ A ₁ L ₃
	Diesel		Corta	P ₂ D ₁ C ₁	P ₂ D ₁ C ₂	P ₂ D ₁ C ₃	
			Larga	P ₂ D ₁ L ₁	P ₂ D ₁ L ₂	P ₂ D ₁ L ₃	

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

3.2.2 Selección de la muestra

Para la etapa de policondensación la muestra a polimerizar fue la solución de queratina líquida obtenida del proceso de hidrólisis.

Para la etapa de evaluación de adsorción se utilizó las fibras de queratina sintéticas obtenidas en la etapa de policondensación que fueron modificadas para formar partículas de *Tipo II* y *Tipo III*. Para el adsorbente *tipo II* se cortó las fibras con una longitud aproximada de 3 cm y para el adsorbente *tipo III* se encapsuló las fibras con longitud variada pero menor a 2 cm en bolsas de nylon.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Obtención de la materia prima

La materia prima (plumas de pollo) se adquirieron de una granja avícola y de una peladora de pollos ubicada a las afueras de la ciudad de Riobamba.

3.3.2 Lavado y secado de la materia prima

Las plumas se pusieron en recipientes de plástico con suficiente agua para sumergirlas totalmente, el lavado se lo hizo de forma manual con detergente doméstico, después de tres horas de lavado se desechó el agua utilizando una malla para retener las plumas, se repitió hasta tener una cantidad considerable de plumas, las plumas se colocaron en cestas de plástico y se dejaron al aire libre para su secado durante 3 semanas. La plumas secas se cortaron manualmente con tijeras, se las trituro con un molino y se guardó en bolsas plásticas de ziploc hasta su proceso de hidrólisis.

3.3.3 Reactivos

En la siguiente tabla se muestran los reactivos utilizados para la extracción de la queratina por el método de hidrólisis

Tabla 3-3: Reactivos usados en el proceso de hidrólisis.

Características	Formula
Sulfuro de sodio	Na_2S
Peróxido de hidrogeno	H_2O_2
Ácido sulfúrico	H_2SO_4
Hidróxido de sodio	NaOH

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En la siguiente tabla se presentan los reactivos utilizados en la formación de fibras por policondensación de queratina

Tabla 3-4: Reactivos utilizados en el proceso de policondensación.

Características	Formula
Ácido Adípico	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$
Ácido Oxálico	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

3.3.4 Preparación de disoluciones

3.3.4.1 Sulfuro de sodio 6% (p/v)

Sulfuro de sodio propiedad de la ESPOCH, se tomó 100 gamos de reactivo al 60% de pureza y se aforó hasta los 1000 mL con agua destilada.

$$\begin{aligned} g \text{ de } Na_2S &= 1000 * 0,06 = 60 g \text{ de } Na_2S * \frac{100 g \text{ Reactivo}}{60 g Na_2S} \\ &= \mathbf{100 \text{ gramos de reactivo}} \end{aligned}$$

3.3.4.2 Peróxido de hidrógeno al 30% (v/v)

Se utilizo peróxido de hidrógeno comercial de la marca La Original con una concentración del 30% por lo que se añadió 500 mL directamente.

3.3.4.3 Ácido sulfúrico al 10% (p/v)

Se utilizo ácido sulfúrico propiedad de la ESPOCH con una concentración del 96%, se tomó 104,16 gamos de reactivo y se aforó hasta los 1000 mL

$$\begin{aligned} g \text{ de } H_2SO_4 &= 1000 * 0,1 = 100 g \text{ de } Na_2S * \frac{100 g \text{ Reactivo}}{96 g Na_2S} \\ &= \mathbf{104,16 \text{ gramos de reactivo}} \end{aligned}$$

3.3.4.4 Hidróxido de sodio al 8% (p/v)

Se utilizo lejía comercial de la marca sello rojo con un 80% de hidróxido de sodio que se disolvió 100 g de lejía y se aforo con agua destilada hasta los 1000 mL.

$$\begin{aligned} g \text{ de } NaOH &= 1000 * 0,08 = 80 g \text{ de } NaOH * \frac{100 g \text{ Reactivo}}{80 g NaOH} \\ &= \mathbf{100 \text{ gramos de reactivo}} \end{aligned}$$

3.3.4.5 Acido adípico al 1, 5 y 10 % (p/v)

Se utilizó ácido adípico comprado al distribuidor AllBiz con una pureza del 95%, el reactivo se aforó a 1000 mL de la siguiente manera:

- Para el 1% se utilizó 10,52 gamos de reactivo
- Para el 5% se utilizó 52,63 gamos de reactivo
- Para el 10% se utilizó 105,25 gamos de reactivo

3.3.4.6 Acido oxálico al 1 y 5 % (p/v)

El ácido oxálico propiedad de la ESPOCH al 96% de pureza se aforó a 1000 mL de la siguiente forma:

- Para el 1% se utilizó 10,41 gamos de reactivo
- Para el 10% se utilizó 104,10 gamos de reactivo

3.3.5 Hidrólisis

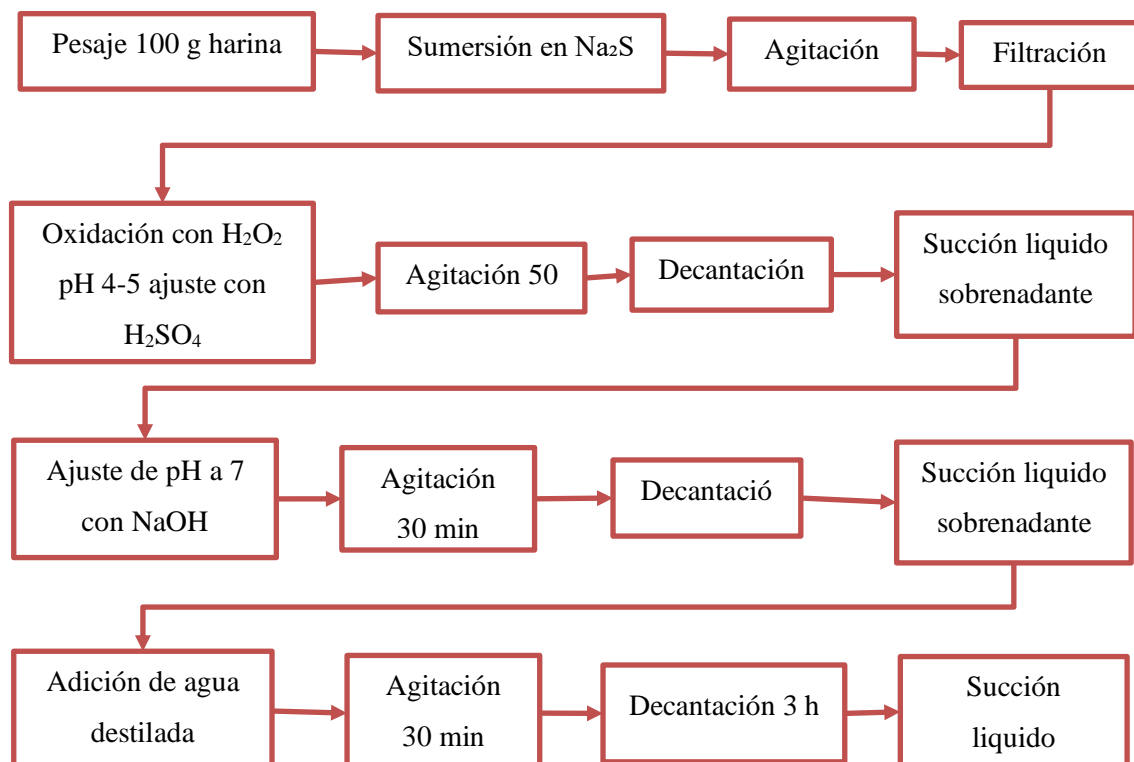


Ilustración 3-2: Esquema del proceso de hidrólisis.

Realizado por: Lozano, Alexander, 2023.

Para el proceso de hidrólisis se pesó 100 gamos de harina de plumas que fueron sumergidas en la solución de sulfuro de sodio hasta alcanzar un volumen de 2000 mL, la solución fue sometida a agitación durante 24 horas con un motor y un agitador a velocidad baja. Tras el proceso de hidrólisis el líquido de color verde oscuro fue filtrado para retirar los restos sólidos sobrantes y el líquido se lo pasó a otro recipiente para su oxidación en un vaso de precipitación de 2000 mL y se ajustó el pH a un valor entre 4 y 5 con la solución de ácido sulfúrico, añadiendo a la vez el peróxido de hidrógeno, esta fase se agitó durante 50 minutos. Pasados los 50 minutos, se dejó decantar por 3 horas y luego de las 3 horas se succionó el líquido sobrenadante con una jeringa de plástico, la parte decantada se disolvió con la solución de hidróxido de sodio para ajustar el pH a un valor de 7 y se agitó durante 30 minutos, este proceso fue un lavado.

Posterior al lavado se lo dejó decantar por 3 horas y pasado este tiempo se extrajo el líquido sobrenadante con una jeringa. Se le añadió agua destilada y se lo agitó nuevamente por 30 minutos. Pasados los 30 minutos se decantó. La última decantación fue por 3 horas, pasadas las 3 horas se succionó el líquido sobrenadante con la jeringa obteniendo una solución espesa y de tono cremoso la cual fue sometida a un proceso de policondensación.

3.3.6 Policondensación de la queratina

Siguiendo el procedimiento de la guía de policondensación de queratina se desalinizó el líquido resultado de la hidrólisis por ultrafiltración y se aplicó dos distintos ácidos dicarboxílicos los cuales fueron ácido adípico y ácido oxálico a dos distintas concentraciones de 1 y 10 % (p/v), en el caso del ácido adípico se aplicó una tercer concentración del 5 % , con dos distintas temperaturas: 35 y 80 °C esto con la finalidad de conocer las condiciones que favorecen más a la formación de fibras sintéticas de queratina. Se resume el proceso en el siguiente esquema:

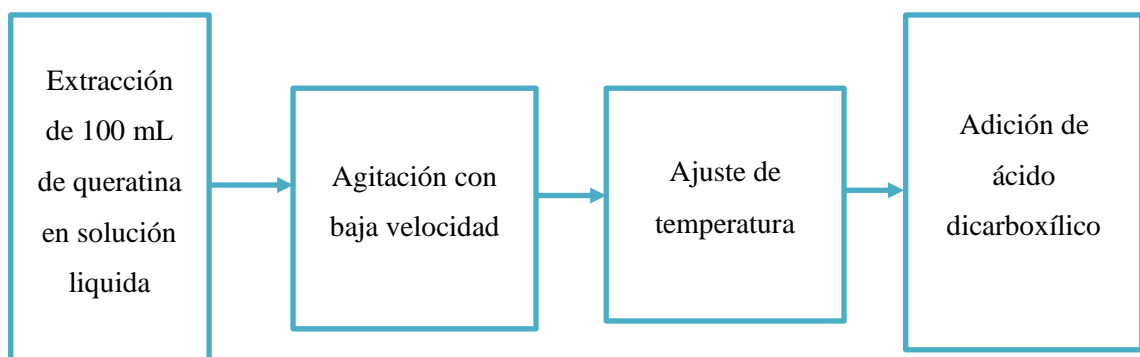


Ilustración 3-3: Esquema del proceso de policondensación.

Realizado por: Lozano Alexander, 2023.

Para la policondensación se siguieron los siguientes pasos:

- De la solución líquida de queratina resultante de la hidrólisis se extrajo 100 mL.
- Se colocó en un agitador magnético los 100 mL ajustando la temperatura deseada y las revoluciones a velocidades bajas y se inició la agitación a la solución de queratina líquida.
- Se fue agregando lentamente la solución de ácido dicarboxílico a la queratina líquida hasta agregar 100 mL de solución y se dejó agitando.
- Se pesó la cantidad de fibras de queratina formadas para cada repetición
- Se conservó la muestra de fibras resultante en recipientes secos.

3.3.7 Preparación y adecuación de muestras

Siguiendo los procedimientos listados en la norma ASTM 726-12. Las fibras sintéticas fueron pre acondicionadas colocándolas en agua destilada durante un día. Posteriormente fueron modificadas para formar partículas de tipo II y Tipo III siguiendo las siguientes indicaciones:

Partículas de tipo II: material particulado no consolidado sin forma y sin resistencia suficiente para permitir su manipulación, debe ser material suelto.

Partículas de tipo III: almohadillas, material adsorbente en el interior de una red o tela exterior con permeabilidad al aceite, con aberturas capaces de retener el material adsorbente dentro de la red o tela, debe ser material encerrado.

3.3.8 Determinación de la flotabilidad

Para determinar la flotabilidad se realizó para los dos tipos de partícula (*Tipo II* y *Tipo III*). Se colocó una masa conocida de material sobre agua destilada durante dos horas, luego se observó si el material permanecía sobre la superficie del agua y que cantidad del material se sumergió.

3.3.9 Preparación del medio de adsorción

Siguiendo los parámetros de la norma ASTM 726-12, para cada prueba se añadió una cantidad de hidrocarburo, en este caso Diesel comercial y Aceite SAE 10W30, lo suficiente para obtener una profundidad que pueda albergar al material sumergido completamente en caso de hundirse. Se consideró en un vaso de precipitación de 600 mL.

3.3.10 Rendimiento del sorbente.

Para evaluar el rendimiento del sorbente las fibras de queratina se las modificó con base en la norma ASTM 726-12, que se basa en el protocolo canadiense *Oil Sorbente: Testin Protocol and Certification Listin Progam.*

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

- *Tipo II:* Fibras de queratina con granulometría homogénea y suelta. Para este tipo de partícula la muestra de fibras fue cortadas para que tengan una longitud de fibras que ronde los 3 cm.
- *Tipo III:* Fibras de queratina de menor granulometría, dentro de una malla en una especie de almohadilla, para ello se utilizó tela nylon comercial con 97% de poliamida (nylon) y 3% elastano (lycra), se elaboraron capsulas con un peso de 4 gamos.

Cada tipo de partícula fue sometida a dos pruebas específicas presentes en la norma ASTM F276-12, las cuales fueron:

3.3.10.1 Prueba de adsorción corta.

- Se adicionó 300 mL de hidrocarburo en un vaso de precipitación de 600 mL.
- Se pesó la muestra inicial de cada tipo de partícula del sorbente.
- Se agregó la muestra en el recipiente con el líquido de prueba (hidrocarburo) para las partículas de Tipo II con ayuda de una malla y para el caso de Tipo III se soltó las capsulas.
- Luego de 15 minutos se retiró el sorbente del hidrocarburo.
- Se dejó un tiempo de 30 segundos de drenaje y se registró el peso.
- Se realizó 3 repeticiones.

3.3.10.2 Prueba de adsorción larga

- Se colocó 300 mL de hidrocarburo en un vaso de precipitación de 600 mL
- Se pesó la muestra inicial de cada tipo de partícula.
- Se añadió la muestra en el recipiente con el líquido de prueba (hidrocarburo) para las partículas de Tipo II con ayuda de una malla y para el caso de Tipo III se soltó las capsulas.
- Luego de 24 horas se retiró el sorbente, se drenó por 30 segundos y se registró su peso
- Se realizó 3 repeticiones con un blanco para cada tipo de partícula

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Preparación y adecuación de muestras

4.1.1 Hidrólisis de plumas

En las siguientes tabla se presenta los valores promedios obtenidos del proceso de hidrólisis. Los valores detallados del proceso de hidrólisis se detallan en el Anexo A.

Tabla 4-1: Volumen de solución de queratina líquida obtenido por hidrólisis.

	Plumas (g)	Volumen de solución (mL)	Queratina en solución (mL)
Promedios	100,2766	2000	336,000

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

A continuación, se presentan características físicas y organolépticas promedio medidos en la queratina en solución líquida obtenida comparándola con queratina comercial.

Tabla 4-2: Características de la queratina en solución líquida.

Características	Queratina obtenida	Especificaciones de queratina comercial
Color	Blanco perlado	Amarillo
Olor	Sin olor	Vainilla
Aspecto	Cre moso	Cre moso
Densidad	1 g/L	1 g/L
pH	6,8	5 - 7,5

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

De las 10 repeticiones del proceso de hidrólisis se obtuvo un promedio de harina de plumas utilizado de 100,27 gamos con un volumen de queratina en solución líquida obtenida de 336 mL. En cuanto a características se comparó con una marca comercial L'Oreal en características organolépticas, densidad y pH, con valores similares en ambos.

4.2 Policondensación de queratina

De la etapa de policondensación se resume a continuación los valores promedios de fibras de queratina formadas en gamos al variar la concentración de los dos ácidos dicarboxílicos y la temperatura.

4.2.1 Resultados de la policondensación de queratina

4.2.1.1 Resultados policondensación con ácido adípico

En la siguiente tabla se presentan los valores promedios del proceso de policondensación aplicando ácido adípico con las tres distintas concentraciones y se calculó el rendimiento relacionando el promedio de fibras formadas con la cantidad de ácido utilizado, los valores detallados se presentan en el Anexo B.

Tabla 4-3: Resultados promedio de la policondensación con ácido adípico.

Concentración de Ácido % (p/v)	Temperatura (°C)	Fibras Promedio (g)
1	35	2,3306
	80	2,4265
5	35	3,5005
	80	3,6914
10	35	4,9842
	80	5,3092

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

Se puede observar la mayor formación de fibras con una concentración del 10% (p/v) con una temperatura de 80°C. La menor formación se dio con la concentración del 1% (p/v).

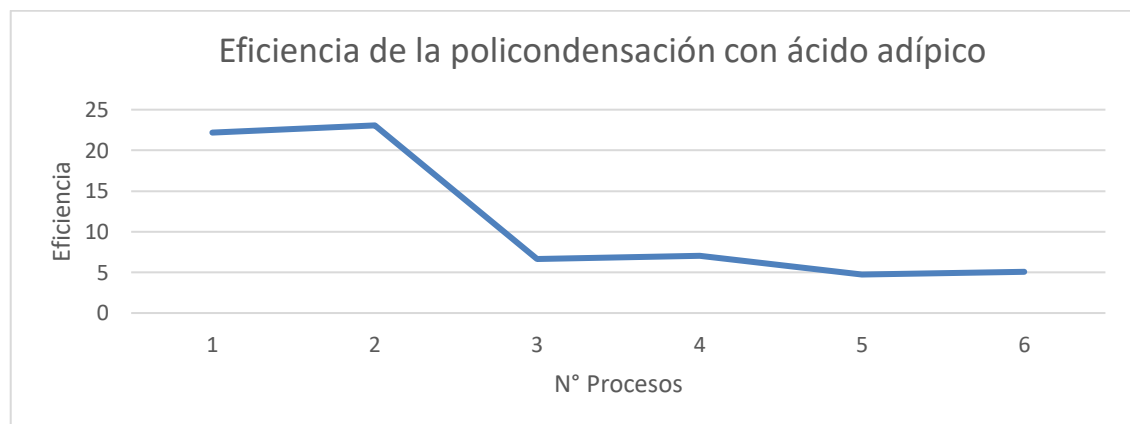


Ilustración 4-1: Eficiencia de la policondensación con ácido adípico

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En la gráfica se puede observar que la eficiencia del ácido adípico se ve disminuida al aumentar la concentración, la concentración con mayor eficiencia es al 1% con 80 °C y de este punto la eficiencia baja drásticamente.

4.2.1.2 Resultados de la policondensación con ácido oxálico

A continuación, en la tabla se presentan los valores promedios de masa obtenidos al aplicar ácido oxálico con las dos concentraciones distintas, los valores detallados se presentan en el Anexo C

Tabla 4-4: Resultados promedio de la policondensación con ácido oxálico.

% Ácido	Temperatura (°C)	Masa Promedio (g)
1	35	2,5493
	80	2,4851
10	35	5,3505
	80	5,4670

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

Con el ácido oxálico no se pudo polimerizar la queratina para formar fibras, se dio la formación de una masa inestable de color gris claro.

4.2.2 Análisis de varianza del proceso de policondensación

Se realizó el análisis estadístico para determinar las diferencias o similitudes en los resultados obtenidos de la policondensación de la queratina con ácido adípico.

Se aplicó el diseño factorial, escogiendo como factores principales la concentración del ácido adípico y la temperatura, como variable de respuesta los gamos de fibras sintéticas formadas.

A continuación, se presenta el resumen del análisis de varianzas de los promedios de formación de fibras de queratina para los distintos niveles del experimento:

Tabla 4-5: Análisis de varianza del proceso de policondensación con ácido adípico.

FV	SC	GL	CM	FO	VALOR P
Efecto B	0,18719041	1	0,18719041	1,59915787	0,23003134
Efecto A	23,0996391	2	11,5498196	98,6695043	3,548E-08
Efecto AB	0,0397218	2	0,0198609	0,16967063	0,84593233
Error	1,40466739	12	0,11705562		
Total	24,7312187	17			

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En función del valor p y una significancia del 0,05 se concluye que:

- La temperatura no tiene efectos significativos en la formación de fibras sintéticas.
- Al menos una de las concentraciones de ácido adípico tiene efectos significativos en la formación de fibras sintéticas.
- La interacción entre la temperatura y la concentración de ácido adípico no tiene efectos en la formación de fibras sintéticas.

De los dos factores, el que produce efectos en la policondensación es la concentración de ácido adípico. En función de los promedios de ácido adípico.

4.2.2.1 Test LSD para el efecto de la concentración de ácido adípico

A continuación, se presentan los resultados de la prueba LSD de Fisher aplicados a los efectos del factor “concentración de ácido adípico”.

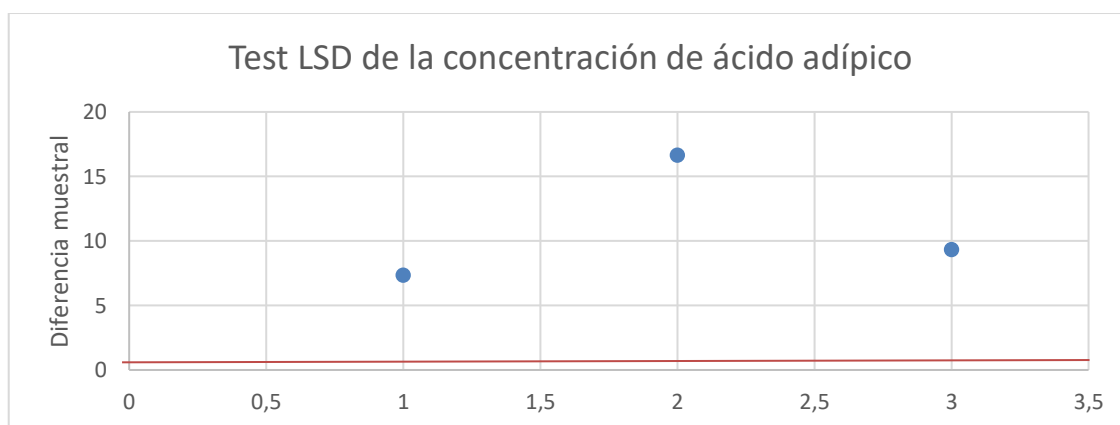


Ilustración 4-2: Test LSD de la concentración de ácido adípico

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

Se puede observar que la diferencia entre las tres medias es significativa por estar sobre la línea naranja que representa el valor LSD de 0,43 por lo que existe una gran diferencia al aplicar distintas concentraciones. Para la concentración 1, 5 y 10% los valores fueron 7,3; 16,6 y 9,3 respectivamente.

4.3 Eficiencia del proceso de síntesis de fibras de queratina

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la eficiencia de síntesis de fibras a partir de plumas por hidrólisis química y policondensación relacionado con el valor teórico de queratina presente en la plumas que es del 70% (Florida Rofner, 2019).

Tabla 4-6: Eficiencia del proceso de síntesis de fibras de queratina con plumas

Proceso	H. Plumaz (g)	Queratina teórica (g)	Fibras (g)	Eficiencia %
1	100,4261	70,2983	6,9917	9,94
2	100,3528	70,2470	7,2795	10,36
3	100,2688	70,1882	10,5014	14,96
4	100,4446	70,3112	11,0743	15,75
5	100,0793	70,0555	14,9527	21,34
6	100,0019	70,0013	15,9276	22,75
7	100,2023	70,1416	7,6480	-
8	100,0673	70,0471	7,4553	-
9	100,2389	70,1672	16,0516	-
10	100,6843	70,4790	16,4011	-

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

La diferencia entre procesos se debe a la temperatura y concentración de ácido dicarboxílico aplicado, con las condiciones del proceso número 6 se observa la mayor síntesis de fibras de queratina. Para los procesos 7, 8, 9, 10 existe una nula eficiencia ya que no existió formación de fibras.

4.4 Preparación de partículas tipo II y tipo III

Para la preparación de partículas de Tipo II y Tipo III se realizó pesando 4 gamos para cada muestra, los pesos de cada muestra de partícula que fueron utilizadas tanto para la prueba de adsorción corta como larga se presentan sus valores promedio a continuación, los valores detallados de cada muestra de partícula se pueden observar en los Anexo D y Anexo E:

Tabla 4-7: Pesos promedios de las muestras de partículas preparadas para las pruebas.

	Tipo II (g)	Tipo III (g)
Para prueba Corta	4,1012	4,1089
Para prueba Larga	4,1206	4,1309

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

Para ambos tipos de partícula se buscó que tengan un intervalo de peso entre 4 y 4,3 gamos, en cuanto a las longitudes, las partículas de tipo II un aproximado de 3 cm y para las partículas de tipo III de menor longitud y variada en función a lo establecido a la norma ASTM

4.5 Flotabilidad

La prueba de flotabilidad fue realizada por triplicado para cada tipo de partícula, los resultados se detallan a continuación.

Tabla 4-8: Resultados de la prueba de flotabilidad en base a la Norma ASTM.

TIPO DE PARTICULA	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	OBSERVACIONES
II	+	+	+	84% flotabilidad
III	-	-	-	La mayoría de las muestras precipitaron.

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

De los dos tipos de partículas evaluados, la partícula de tipo II se mantuvieron en suspensión y un porcentaje en flotación permanente en la superficie, las partículas de tipo III tienden a precipitar. Según la norma ASTM F-726 si más del 10% de la partícula se hunde o se desprenden partículas del sorbente en el agua, no se recomienda el uso en agua, por ello ambos tipos de partícula no son recomendables para su uso en agua.

4.6 Rendimiento de adsorción de las fibras sintéticas de queratina

En función de la norma ASTM F-276-12 las pruebas de adsorción corta y larga permiten determinar la proporción de un sorbente cuando se coloca en un líquido de prueba en condiciones de reposo durante 15 minutos y 24 horas respectivamente.

Esta metodología permitió probar el rendimiento de ambos tipos de partículas calculando la diferencia de pesos antes y después de la prueba para determinar la cantidad de líquido de prueba

adsorbido y relacionándolo con el peso de fibras utilizado. Diseñado para la eliminación de aceites crudos, aceites no emulsificados y otros líquidos flotantes e inmiscibles de la superficie del agua. (International ASTM, 2012)

Mediante la siguiente tabla se presentan los valores promedio de rendimiento de sorción de las fibras sintéticas de queratina en relación hidrocarburo/sorbente, cada prueba se realizó con 3 repeticiones. Los valores detallados de rendimiento de cada prueba se pueden encontrar en Anexo F y Anexo G.

Existe una amplia diferencia en las partículas de tipo II y tipo III. Las partículas de tipo III en general albergan una mayor cantidad de hidrocarburos muy superior a las partículas de tipo II.

Tabla 4-9: Capacidad adsorbente de las fibras sintéticas de queratina.

Partícula	Prueba	Líquido prueba	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (g)	Capacidad gHc/gS
TIPO II	Corta	Diesel	4,0883	7,2342	3,1459	0,7698
		Aceite	4,0730	7,4846	3,4116	0,8376
	Larga	Diesel	4,1660	8,4093	4,2433	1,0198
		Aceite	4,1253	8,8268	4,7015	1,1398
TIPO III	Corta	Diesel	4,1731	41,9686	37,7955	9,0577
		Aceite	4,0838	43,1740	39,0901	9,5754
	Larga	Diesel	4,0457	42,5928	38,5470	9,5289
		Aceite	4,2240	43,2841	39,0601	9,2531

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

4.6.1 Análisis de varianza del rendimiento

Se realizó el análisis estadístico para determinar las diferencias o similitudes en los resultados obtenidos del rendimiento de sorción de las fibras de queratina

4.6.1.1 ANOVA adsorción de partículas tipo II

Para aplicar el análisis de varianza se optó por un modelo DBCA, como factor principal el tipo de prueba aplicada, como factor de bloque el líquido de prueba y como variable de respuesta el rendimiento. A continuación, se presenta el resumen del análisis de varianza.

Tabla 4-10: Análisis de varianza para el rendimiento de las partículas de tipo II.

FV	GL	SC	CM	Fo	Valor P
Prueba	1,0000	14,5161	14,5161	54,0991	0,08602609
HC	1,0000	1,7290	1,7290	6,4436	0,23890864
Error	1,0000	0,2683	0,2683		
Total	3,0000	16,5134			

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En función del valor p con una significancia del 0,05 se determinó que:

- La prueba aplicada no tiene efectos significativos sobre el rendimiento del sorbente en partículas de tipo II
- El líquido de prueba no tiene efectos significativos sobre el rendimiento del sorbente en partícula de tipo II

4.6.1.2 ANOVA adsorción de partículas de tipo III

Para el análisis de varianza del rendimiento de partículas de tipo III se aplicó el modelo DBCA con el factor principal el tipo de prueba aplicada, factor de bloque el líquido de prueba y como variable de respuesta el rendimiento. A continuación, se presenta el resumen del análisis de varianza:

Tabla 4-11: Análisis de varianza del rendimiento de las partículas de tipo III.

FV	GL	SC	CM	Fo	Valor p
Prueba	1,00	1,1712	1,1712	0,8522	0,525
HC	1,00	7,3522	7,3522	5,3499	0,259
Error	1,00	1,3743	1,3743		
Total	3,00	9,8977			

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En función del valor p con una significancia del 0,05 se determinó que:

- El tipo de prueba no tiene efectos significativos sobre el rendimiento del sorbente en partículas de tipo III
- El líquido de prueba no tiene efectos significativos sobre el rendimiento del sorbente en partículas de tipo III

4.6.1.3 ANOVA rendimiento del sorbente

Al determinar que el sorbente modificado como partículas de tipo II y tipo III no se ve afectado en ambos casos por el tipo de prueba y por el líquido de prueba, se calculó el análisis de varianza del sorbente, en este caso, las fibras sintéticas de queratina. Se realizó mediante un diseño factorial, con los factores principales: tipo de partícula y tipo de prueba y como variable de respuesta el rendimiento, para evaluar la diferencia y similitudes al modificar las fibras de queratina.

Tabla 4-12: Análisis de varianza, rendimiento de las fibras de queratina como sorbente

FV	SC	GL	CM	FO	VALOR P
Efecto A	3,98893681	1	3,98893681	6,52051764	0,01893238
Efecto B	7228,47552	1	7228,47552	11816,0313	3,3464E-29
Efecto AB	1,24014881	1	1,24014881	2,0272099	0,16991906
Error	12,2350311	20	0,61175155		
Total	7245,93963	23			

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

En función del valor p con una significancia del 0,05 se determinó que:

- El tipo de prueba no tiene efectos significativos en el rendimiento sorbente de las fibras sintéticas de queratina.
- Al menos un tipo de partícula tiene efectos significativos en el rendimiento sorbente de las fibras sintéticas de queratina.
- La interacción entre el tipo de prueba y el tipo de partícula no tiene efectos en el rendimiento de las fibras sintéticas de queratina.

4.7 Capacidad del sorbente

Una vez identificadas las diferencias que presentan las modificaciones de las fibras de queratina y determinar que solo existe un cambio por el tipo de partícula a continuación se presenta la capacidad de adsorción promedio de las fibras de queratina en gamos de hidrocarburo/gamos de sorbente (gHc/gS).

Tabla 4-13: Capacidad de adsorción promedio de las fibras de queratina.

Tipo de partícula	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (g)	Capacidad gHc/gS
Tipo II	4,1131	7,9887	3,8756	0,9418
Tipo III	4,1317	42,7549	38,6232	9,3538

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

Las fibras sintéticas de queratina al ser modificadas en partículas de tipo II tiene una capacidad de 0,94 gHc/gS y modificándolas en partículas de tipo III una capacidad de 9,35 gHc/gS.

El bagazo modificado en partículas de tipo II tiene una capacidad de adsorción promedio de 4 – 6,1 gHc/gS, con hidrocarburos ligeros (0,873 g/cm³) y mediano (0,916 g/cm³) que son los recomendados, para determinar la capacidad de acuerdo al método F 726-12 (Díaz et al., 2018)

Para hidrocarburos medianos (30° API) la fibra de coco tiene un rendimiento de 15,77 gHc/gS, el buchón de agua grueso 11,23 gHc/gS y la caña fina con 7,45 gHc/gS. Rendimientos iguales y superiores a los comerciales (5,95-7,88) (Ortiz Gonzales et al., 2006)

Las plumas en general tienen una capacidad de 16,3 gHc/gS y 12,6 g/g sorbente. Específicamente Tipo I con 9,1 g/g, tipo II 7,3 g/g, tipo III 2,6 g/g y tipo IV 1,4 g/g (Charca Gongora Liz Yobana y Quispe, 2018)

CONCLUSIONES

En función de la norma técnica de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales se obtuvo que las fibras sintéticas de queratina tienen una capacidad adsorbente de hidrocarburos que varía en función del tipo de partícula, con una capacidad de adsorción para partículas de tipo II de 0,94 veces su peso y para partículas de tipo III 9,35 veces su peso. Es decir, el material suelto no retiene a los hidrocarburos a diferencia con el material encapsulado y esta diferencia puede deberse al material del que está confeccionada la cápsula. Al compararlos con otros estudios en sorbentes orgánicos naturales y sintéticos, su capacidad es baja. Por lo que su aplicabilidad como sorbente no es viable.

El 70% de la estructura de las plumas está formada por queratina (Florida Rofner, 2019). De la cual al ser plumas su composición es mayoritariamente β -queratina, a diferencia de poliamidas de origen natural como el pelo o lana que se componen de α -queratina (Varma y Gopi, 2021). La β -queratina presenta una estructura en forma de capas de tal manera que cuenta con bajos sitios activos para policondensar, a diferencia de la α -queratina que posee una estructura helicoidal unida por puentes de disulfuro que resulta en mayor actividad. Con ácido oxálico la síntesis de fibras fue nula. Pese a ser ambos ácidos dicarboxílicos, el ácido oxálico no logra polimerizar, esto quizá debido a su estructura química que a diferencia del ácido adípico no presenta una cadena larga de carbono.

Para las condiciones óptimas de policondensación, al aplicar ácido oxálico se obtuvo la formación de una masa inestable siendo no adecuado para este fin. La aplicación de ácido adípico si permitió la formación de fibras y mediante el análisis de varianzas se obtuvo que la concentración del ácido presenta efectos significativos en la formación de fibras y por test LSD se determinó que entre todas las concentraciones existe una diferencia significativa, pero la mayor eficiencia se obtiene con una concentración del 1% (p/v) ya que permite ahorrar insumos.

De los dos tipos de partículas evaluados en su flotabilidad, las partículas de Tipo II se mantuvieron en suspensión y un porcentaje en flotación permanente en la superficie, las partículas de Tipo III tienden a precipitar. Según la norma ASTM F-276 si más del 10% de la partícula se hunde o se desprenden partículas del sorbente en el agua, no se recomienda su uso en agua.

RECOMENDACIONES

Se puede mejorar la eficiencia de las fibras sintéticas combinándolas con otros sorbentes o alterando su estructura por procesos físicos o químicos.

El tipo de queratina puede influir en la síntesis de fibras de queratina por lo que se puede utilizar tejidos compatibles como el pelo o la lana.

Para la molienda se puede optar por clasificar las plumas por tipo, además de evaluar la granulometría de harina para mejorar la reacción en el proceso.

El proceso de policondensación puede ser probado con otros ácidos dicarboxílicos para evaluar su comportamiento, además, el proceso puede ser probado aplicando otros tipos de extracción con microorganismo o aplicando directamente enzimas proteasas.

La aplicabilidad en agua se puede dar al combinar las fibras sintéticas con otros tipos de materiales que permitan su flotabilidad como madera o materiales con cámaras de aire.

Se propone evaluar la aplicabilidad de las fibras sintéticas de queratina en otros campos como la industria te

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO A., Oleoductos obsoletos: medio siglo de roturas y derrames en la Amazonía ecuatoriana. *MongabayLatam* [en línea], 2022. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2022/07/medio-siglo-de-roturas-y-derrames-de-petroleo-en-la-amazonia-ecuatoriana/>.

BLANCO YBANEZ, A.J., *Manual de operaciones y diseño para fractura hidráulica de pozos de gas y petróleo* [en línea]. S.l.: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. 2018. ISBN 9789874491008. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/172320>.

CASTAÑEDA, D.M. y PAPACRISTOFILOU, S.I., El petróleo y la gasolina. [en línea], 2017. pp. 1-4. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/253452/GasolinaFT.pdf>.

CHARCA GONGORA LIZ YOBANA y QUISPE, Q.M., 2018. *Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: Efecto tamaño de la partícula*. 2018. S.l.: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.

COSTA, F., SILVA, R. y BOCCACCINI, A.R., 7 - Fibrous protein-based biomaterials (silk, keratin, elastin, and resilin proteins) for tissue regeneration and repair. En: M.A. BARBOSA y M.C.L.B.T.-P. and P. as B. for T.R. and R. MARTINS (eds.) [en línea]. S.l.: Woodhead Publishing, 2018. pp. 175-204. ISBN 978-0-08-100803-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081008034000073>.

DÍAZ, M., RIVAS, L., LEÓN, M. y ACOSTA, J., Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y suelos. *Revista Cubana de Química*, 2018. vol. 30, no. 2, pp. 289-298.

ELIZAVETA, M. y MARIA, U., Ecological aspects of sorbents use to improve the efficiency of bioremediation on oil-contaminated lands. *Fuentes el Reventon Energetico*, 2021. vol. 19, no. 1, pp. 65-73. ISSN 21458502. DOI 10.18273/REVFUE.V19N1-2021006.

FLORIDA ROFNER, N., Plumas: Implicancia Ambiental Y Uso En La Industria Agropecuaria. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 2019. vol. 21, no. 3, pp. 225-237. ISSN 23068582. DOI 10.18271/ria.2019.480.

GARY, J.H. y HANDWERK, G.E., *Refino de petróleo* [en línea]. S.l.: Editorial Reverte. 2020. ISBN 9788429192025. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/195438>.

INTERNATIONAL ASTM, Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents 1. *ASTM International*, 2012. pp. 1-6. DOI 10.1520/F0726-12.2.

KUMAR, J., KUMAR, P. y KUSHWAHA, R.K.S., Chapter 8 - Significance of keratinophiles in biofertilizer development from keratinous waste: Upcoming perspective. En: A. RAKSHIT, V.S. MEENA, M. PARIHAR, H.B. SINGH y A.K.B.T.-B. SINGH (eds.) [en línea]. S.l.: Woodhead Publishing, 2021. pp. 95-101. ISBN 978-0-12-821667-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128216675000063>.

LOVE, B., Chapter 2 - Cell Expression: Proteins and Their Characterization. En: B.B.T.-B. LOVE (ed.) [en línea]. S.l.: Academic Press, 2017. pp. 25-44. ISBN 978-0-12-809478-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012809478500002X>.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NO RENOVABLES, Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas. *Registro Oficial Suplemento 213* [en línea], 2016. no. 2982, pp. 54. Disponible en: www.lexis.com.ec.

ORTIZ GONZALES, D.P., ANDRADE FONSECA, F., RODRÍGUEZ NIÑO, G. y MONTENEGRO RUIZ, L.C., Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Ingeniería e Investigación*, 2006. pp. 20-27.

REDDY, N. y SANTOSH, M.S., Chapter 14 - Recovery and Applications of Feather Proteins. En: G.B.T.-P.B. SINGH DHILLON (ed.) [en línea]. S.l.: Academic Press, 2016. pp. 255-274. ISBN 978-0-12-802391-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128023914000148>.

S.KOKOT y QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, B.A., 1. Structure and Composition of Keratins. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* [en línea], 2001. pp. 4363-4368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/00765-8>.

SILOS RODRIGUEZ, J.M., *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos* [en línea]. S.l.: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. 2013. ISBN 9788498284355. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/33842>.

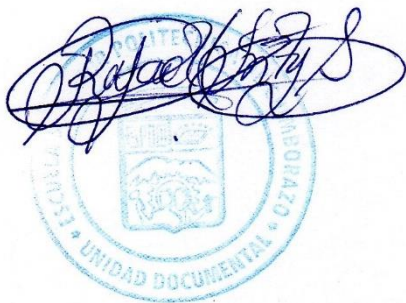
SILVA, C., CAVACO-PAULO, A. y NIERSTRASZ, V.A., 4 - Enzymatic hydrolysis and modification of core polymer fibres for textile and other applications. En: V.A. NIERSTRASZ y A.B.T.-A. in T.B. CAVACO-PAULO (eds.), *Woodhead Publishing Series in Textiles* [en línea]. S.l.: Woodhead Publishing, 2010. pp. 77-97. ISBN 978-1-84569-625-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845696252500048>.

SINGH, V., WANG, S. y NG, K.W., 2.25 Keratin as a Biomaterial. En: P.B.T.-C.B.I.I. DUCHEYNE (ed.) [en línea]. Oxford: Elsevier, 2017. pp. 542-557. ISBN 978-0-08-100692-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818093176>.

URIBE VELASCO, M., *Los polimeros: sintesis, caracterizacion, degradacion y reologia* [en línea]. S.l.: Instituto Politecnico Nacional. 2010. ISBN 9781449227425. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/72785>.

VARMA, K. y GOPI, S., Chapter 7 - Biopolymers and their role in medicinal and pharmaceutical applications. En: S. THOMAS, S. GOPI y A.B.T.-B. and their I.A. AMALRAJ (eds.) [en línea]. S.l.: Elsevier, 2021. pp. 175-191. ISBN 978-0-12-819240-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128192405000079>.

VELÁSQUEZ ARIAS, J.A., Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2017. vol. 8, no. 1, pp. 151-167. ISSN 2145-6097. DOI 10.22490/21456453.1846.



ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DE LA HIDRÓLISIS QUÍMICA

Nº Hidrolisis	Harina de plumas (g)	volumen de queratina (mL)	pH
1	100,4261	340	7,05
2	100,3528	340	6,80
3	100,2688	330	7,20
4	100,4446	340	6,94
5	100,0793	330	7,09
6	100,0019	340	6,74
7	100,2023	340	7,23
8	100,0673	330	6,62
9	100,2389	330	6,47
10	100,6843	340	6,83
Promedio	100,2766	336	6,897
Desviación estándar	0,207	5,163	0,250

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO B: RESULTADOS DE LA POLICONDENSACIÓN, ÁCIDO ADÍPICO

% Acido	Temperatura	Peso de fibras formadas			Promedio
	°C	R 1	R 2	R 3	
1	35	2,1749	2,2631	2,5537	2,3306
	80	2,7533	2,0234	2,5028	2,4265
5	35	3,5577	3,1992	3,7445	3,5005
	80	3,6553	4,0781	3,3409	3,6914
10	35	5,1176	4,7864	5,0487	4,9842
	80	4,8917	5,906	5,1299	5,3092

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO C: RESULTADOS DE LA POLICONDENSACIÓN, ÁCIDO OXÁLICO

% Acido	Temperatura	Peso de fibras formadas			Promedio
	°C	R 1	R 2	R 3	
1	35	2,3361	2,4799	2,832	2,5493
	80	2,2568	2,7908	2,4077	2,4851
10	35	5,581	4,9177	5,5529	5,3505
	80	5,4309	5,3833	5,5869	5,4670

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO D: PESOS DE LAS PARTÍCULAS PARA LA ADSORCIÓN CORTA.

N° Partícula	Peso de partículas (g)	
	Tipo II	Tipo III
1	4,1751	4,0997
2	4,0583	4,1521
3	4,1036	4,1889
4	4,0572	4,1783
5	4,1504	4,0007
6	4,1017	4,0304
7	4,1197	4,0592
8	4,0434	4,1619
Promedio	4,1011	4,1089

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO E: PESOS DE LAS PARTÍCULAS PARA LA ADSORCIÓN LARGA.

N° Partícula	Peso de partículas (g)	
	Tipo II	Tipo III
1	4,0288	4,1277
2	4,1033	4,1993
3	4,2932	4,3243
4	4,1016	4,1483
5	4,1029	4,1106
6	4,1472	4,0724
7	4,1337	4,0521
8	4,0541	4,0127
Promedio	4,1206	4,1309

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO F: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADSORCIÓN CORTA.

Partícula	Líquido de prueba	Peso inicial (g)			
		Blanco	R1	R2	R3
Tipo II	Diesel	4,1751	4,0583	4,1036	4,0572
	Aceite	4,1504	4,1017	4,1197	4,0434
Tipo III	Diesel	4,0997	4,1521	4,1889	4,1783
	Aceite	4,0007	4,0304	4,0592	4,1619
		Peso final (g)			
Tipo II	Diesel	5,0032	7,2086	7,1027	7,3913
	Aceite	5,0243	7,9309	7,0368	7,4861
Tipo III	Diesel	10,8756	42,6222	41,7154	43,4407
	Aceite	11,1401	43,9942	42,8411	42,6866

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO G: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADSORCIÓN LARGA.

Partícula	Líquido de prueba	blanco	Peso inicial (g)		
			R1	R2	R3
Tipo II	Diesel	4,0288	4,1033	4,2932	4,1016
	Aceite	4,1029	4,1472	4,1337	4,0541
Tipo III	Diesel	4,1277	4,6993	4,3243	4,1483
	Aceite	4,1106	4,0724	4,0521	4,0127
Peso final (g)					
Tipo II	Diesel	5,3009	8,6699	8,3072	8,2508
	Aceite	5,0126	9,1865	9,3885	8,3227
Tipo III	Diesel	11,5006	42,9749	41,6624	41,2686
	Aceite	10,9786	44,4437	42,1027	43,3058

Realizado por: Alexander Lozano, 2023

ANEXO H: EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE LA METODOLOGÍA SEGUIDA

	
Lavado de plumas	Secado de plumas
	
Molienda de plumas	



Pesaje de reactivos



Inicio de hidrolisis



Agitación



Ajuste de pH



Decantación



Lavado de queratina en solución líquida



Filtración



Restos de plumas no hidrolizadas



Queratina en solución líquida



Pesaje ácidos dicarboxílicos



Ultrafiltración



Ácidos dicarboxílicos



Preparación para la policondensación








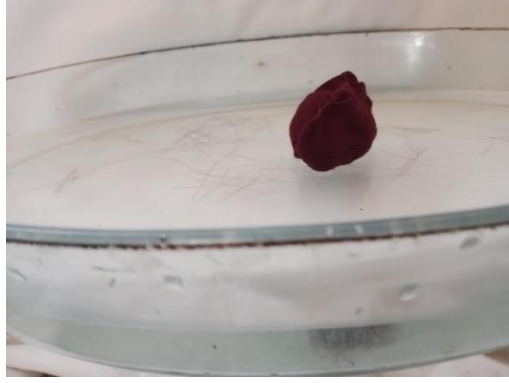


Ajustes de temperatura y velocidad



Inicio de la formación de fibras



Pesaje de fibras y masa

	
<p>Masa formada con ácido oxálico</p>	<p>Policondensación finalizada</p>
	
<p>Partículas de tipo II</p>	<p>Partículas de tipo III</p>
	
<p>Prueba de flotabilidad partículas tipo II</p>	<p>Prueba de flotabilidad partícula de tipo III</p>
	
<p>Pruebas de adsorción</p>	<p>Prueba de adsorción</p>



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Bryan Alexander Lozano Mera
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1220-DBRA-UPT-2023