



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE TEXTILES**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR, MODALIDAD PRESENCIAL**

**TEMA:**

**“ESTRUCTURA LAMINAR (NO TEJIDO) A BASE DE MATERIALES  
LANA Y CABELLO HUMANO PARA LIMPIEZA DE PETRÓLEO  
DERRAMADO EN AGUA DULCE A ESCALA DE LABORATORIO”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Textil**

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnológica sostenible

**Autor:** Cristian Andrés Estévez Robles

**Director:** MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

**Ibarra-2023**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004006548		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Estévez Robles Cristian Andrés		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Av. Obispo Mosquera y Sánchez y Cifuentes - esquina		
EMAIL:	caestevezr@utn.edu.ec; cristianestevez203@outlook.com		
TELÉFONO FIJO:	-	TELF. MOVIL:	0986598706

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ESTRUCTURA LAMINAR (NO TEJIDO) A BASE DE MATERIALES LANA Y CABELLO HUMANO PARA LIMPIEZA DE PETRÓLEO DERRAMADO EN AGUA DULCE A ESCALA DE LABORATORIO”
AUTOR (ES):	Estévez Robles Cristian Andrés
FECHA:	10-11-2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Textil
DIRECTOR:	MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

#### 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de noviembre de 2023.

**EL AUTOR:**

Firma: ..... 

Nombre: Estévez Robles Cristian Andrés

# **CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 10 de Noviembre de 2023

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) .....

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 100158901-7

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ESTRUCTURA LAMINAR (NO TEJIDO) A BASE DE MATERIALES LANA Y CABELLO HUMANO PARA LIMPIEZA DE PETRÓLEO DERRAMADO EN AGUA DULCE A ESCALA DE LABORATORIO” elaborado por Cristian Andrés Estévez Robles, previo a la obtención del título de Ingeniero Textil, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

(f): .....

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 100158901-7

(f): .....

M.Sc. Omar Vinicio Godoy Collaguazo

C.C.: 100308393-6

(f): .....

M.Sc. Elsa Sulay Mora Muñoz

C.C.: 040090045-2

## DEDICATORIA

*El presente trabajo es dedicado a mis padres Edison Estévez y Margarita Robles, quienes son mi razón principal de superación. Su cariño, comprensión y apoyo jamás faltaron a lo largo de estos años. Los valores y principios con los que me supieron educar son los pilares fundamentales en los cuales se ven reflejados los logros alcanzados hasta la actualidad.*

*A mi abuelita Rosa Matilde Robles Villarreal, quien siempre supo motivar mi camino con las palabras adecuadas propias de la sabiduría que adquirió con los años, gracias a las cuales he podido tomar decisiones acertadas en la mayoría de las ocasiones.*

*A mi querida tía Miriam Estévez, quien siempre ha sido como una madre para mí gracias a todo su apoyo y cariño he podido educarme sin problemas, todos mis logros son dedicados a ella, el reflejo de mis éxitos es construido desde el pleno apoyo desinteresado y constante que siempre me ha sabido proveer tal como lo haría una madre para con sus hijos.*

*Estévez Robles Cristian Andrés*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi abuelito Plutarco Rigoberto Estévez Caicedo por haber apoyado mi desarrollo académico y profesional a través de su incalculable perseverancia, vivió para compartir conmigo alrededor de cuatro años de su fugaz lucidez y su fantasiosa memoria que tarde a tarde disfrutaba recordar historias que dejan un recuerdo y un sin número de enseñanzas por aplicar. Hasta su santa paz extendiendo mi más sentido agradecimiento por haberme acogido en su morada, por considerarme como un hijo más y sobre todo por enseñarme a ser perseverante.*

*Al M.Sc. Willam Ricardo Esparza Encalada por apoyarme en el desarrollo del presente trabajo académico, y en especial por compartir con nosotros y desde las aulas de clases, gran parte de su sabiduría y conocimientos técnicos, gracias a esto he podido desarrollar una visión que va más allá de lo común en busca de la creatividad y la autosuperación propias de un excelente emprendedor.*

*A la M.Sc. Elsa Sulay Mora Muñoz por apoyarme desde un principio en el desarrollo de esta investigación gracias a su dirección he podido mantener la motivación necesaria para continuar con el presente trabajo académico.*

*Al M.Sc. Omar Vinicio Godoy Collaguazo por sus auditorías a lo largo del desarrollo de este trabajo profesionalizante, especialmente por compartir con nosotros gran parte de sus conocimientos y preparación profesional en el campo de la ingeniería textil desde que empezó sus primeros pasos como docente de la prestigiosa Universidad Técnica del Norte.*

*A todo el cuerpo docente y técnico de la distinguida Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte por la preparación y el apoyo recibidos a lo largo de todos estos años.*

*Estévez Robles Cristian Andrés*

## RESUMEN

El estudio tiene como objetivo el desarrollo de una estructura laminar de no tejido elaborada a base de cabello humano y lana para recuperación de petróleo derramado sobre agua dulce a escala de laboratorio. El sustrato fue elaborado con una mezcla óptima de 75/25% (lana-cabello) a través de métodos textiles como lo son el cardado y el planchado a vapor que enfieltra las fibras, estos métodos corresponde al proceso conocido como “*Wet Laid*”, para la elaboración de no tejidos por vía húmeda.

Estudios previos han demostrado que el cabello posee una excelente afinidad por el petróleo y sus derivados, llegando a retener en su estructura estas sustancias. De igual forma la fibra de lana presenta buenas propiedades adsorbentes de aceite de petróleo. La metodología aplicada fue del tipo cuantitativa, bibliográfica, experimental y analítica, empleando como métodos de ensayo las Normas Internacionales ISO 9073-13\_1989 (método de ensayo para la resistencia a la tracción y elongación de no tejidos) y ASTM F726-12 (método de prueba para la medición del rendimiento adsorbente de los absorbente).

Las estructuras laminares desarrolladas mostraron tener buenas propiedades físicas, resistiendo hasta 160 N de tensión con una capacidad elástica máxima de 110%. De igual forma el rendimiento adsorbente de las muestras desarrolladas fue excelso llegando a adsorber hasta 20 veces su peso en petróleo. Los resultados obtenidos fueron analizados con el software estadístico Past 4, obteniendo una confiabilidad del 95% según los métodos Jaque-Bera y Shapiro Wilk, dejando una apreciación de que los datos son confiables ( $p > 0,05$ ).

**Palabras clave:** Adsorción, biodegradable, lámina de cabello y lana, petróleo.

## ABSTRACT

The study aims to develop a non-woven laminar structure made from human hair and wool for the recovery of spilled oil on water at a laboratory scale. The substrate was created using an optimal blend of 75/25% (wool-hair) through textile methods such as carding and steam ironing that infiltrate the fibers. These methods correspond to the process known as "Wet Laid" for the production of wet-laid non-wovens.

Previous studies have shown that hair has an excellent affinity for oil and its derivatives, effectively retaining these substances within its structure. Similarly, wool fiber exhibits good oil adsorption properties. The applied methodology was quantitative, bibliographic, experimental, and analytical, employing the International Standards ISO 9073-13\_1989 (test method for the tensile strength and elongation of non-wovens) and ASTM F726-12 (test method for measuring the adsorptive performance of absorbents) as testing methods.

The developed laminar structures demonstrated good physical properties, withstanding up to 160 N of tension and a maximum elastic capacity of 110%. Likewise, the adsorptive performance of the developed samples was exceptional, adsorbing up to 20 times their weight in oil. The obtained results were analyzed using the statistical software Past 4, achieving a reliability of 95% according to the Jaque-Bera and Shapiro Wilk tests, indicating that the data is reliable ( $p > 0.05$ ).

Keywords: Adsorption, biodegradable, hair and wool sheet, oil.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del tema.....	2
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Importancia del estudio.....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Características del sitio de proyecto .....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 Estudios previos .....	7
2.2 El petróleo, extracción, tipos, derrames y remediación .....	8
2.2.1 Remediación de derrames petroleros .....	11
2.3 Absorbentes, cabello humano, lana, propiedades y características .....	13
2.4 No tejidos, tipos, propiedades y características .....	15
2.5 Marco Legal .....	18
CAPÍTULO III.....	20
3.1 Metodología de la investigación .....	20

3.2 Tipo de Investigación.....	21
3.2.1 Investigación Cuantitativa .....	21
3.2.2 Investigación bibliográfica.....	21
3.2.3 Investigación experimental .....	22
3.2.4 Investigación analítica .....	22
3.3 Hipótesis .....	23
3.4 Flujograma general .....	23
3.6 Flujograma muestral .....	25
3.6 Métodos y técnicas.....	26
3.7 Equipos y materiales.....	26
3.8 Proceso.....	31
CAPÍTULO IV.....	33
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1.1 Resultados de resistencia a la tracción (N) y porcentaje de elongación .....	34
4.1.3 Resultados de las pruebas de adsorción de petróleo .....	35
4.1.4 Tabla general de resultados.....	39
4.2 Discusión de resultados.....	40
4.3 Análisis de la varianza .....	40
4.4 Normalidad de los datos.....	44
4.5 Análisis de resultados .....	46

CAPÍTULO V.....	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	51
5.1 Conclusiones.....	51
5.2 Recomendaciones .....	53
GLOSARIO .....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS .....	61

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b>	Longitud promedio del cabello humano _____	32
<b>Tabla 2</b>	Resultados obtenidos del método ISO 9073-3_1989 _____	35
<b>Tabla 3</b>	Rendimiento adsorbente en pruebas cortas y largas de las probetas de no tejido ____	38
<b>Tabla 4</b>	Recopilación general de resultados _____	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Campus Planta Textil Azaya _____	6
<b>Figura 2</b>	Estructura del cabello _____	14
<b>Figura 3</b>	Flujograma general de proceso _____	24
<b>Figura 4</b>	Flujograma muestral _____	25
<b>Figura 5</b>	Máquina abridora de fibras _____	27
<b>Figura 6</b>	Carda lanera _____	27
<b>Figura 7</b>	Dinamómetro _____	28
<b>Figura 8</b>	Plato de cristalización de vidrio de borosilicato tipo pyrex _____	29
<b>Figura 9</b>	Balanza electrónica de carga superior _____	30
<b>Figura 10</b>	Análisis de la varianza de las pruebas de resistencia a la tracción y elongación __	42
<b>Figura 11</b>	Análisis de la varianza del rendimiento adsorbente de las probetas de no tejidos_	43
<b>Figura 12</b>	Análisis de la normalidad de los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción y elongación de las probetas (DCL – DTC). _____	44
<b>Figura 13</b>	Análisis de distribución normal de los resultados del rendimiento adsorbente de las probetas de una y tres capas laminares. _____	45
<b>Figura 14</b>	Gráfica comparativa de fuerzas en sentido trasversal versus longitudinal _____	47
<b>Figura 15</b>	Porcentajes de elongación registrados y comparados, dirección trasversal frente a longitudinal. _____	48
<b>Figura 16</b>	Diagrama de barras comparativo entre el rendimiento adsorbente de las probetas de una y tres capas laminares de no tejido. _____	49
<b>Figura 17</b>	Comparativa entre densidades de las probetas empleadas _____	50

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El proyecto se realizó con la finalidad de elaborar un sustrato textil a partir de fibras proteínicas naturales como son la lana y el cabello humano, para aportar un nuevo material que ayude a mitigar la contaminación negra de un derramamiento de petróleo o sus derivados sobre cuerpos de agua dulce. Que, además, ayuda a reducir o reemplazar los materiales empleados en los métodos de limpieza de derrames aplicados en la actualidad.

Un no tejido desarrollado mediante el enfieltramiento de lana y cabello humano es un sustrato económico y biodegradable, su elaboración no es compleja, además, tiene buena resistencia y elongación, la materia prima es asequible y abundante en el territorio ecuatoriano. El sustrato presentó buena capacidad para limpiar estos derrames y no es despreciable comparado con los materiales sintéticos también empleados en esta tarea, es una alternativa barata que contrarresta directamente los efectos adversos de la utilización de sintéticos que a largo plazo se mantienen contaminando el ambiente.

Las fibras proteínicas presentan una destacada afinidad por el crudo de petróleo y sus derivados, en la superficie de las fibras se desarrolla un fenómeno físico denominado adsorción, este principio consiste en la fijación del hidrocarburo en la superficie de las fibras para evitar la dispersión de estos recursos sobre las superficies acuáticas.

### **1.1 Descripción del tema**

Por medio del presente trabajo de investigación se buscó desarrollar un textil que pueda ser empleado como una alternativa más ecológica en comparación a los métodos tradicionales empleados para este tipo de tareas. El no tejido desarrollado a base de cabello y lana puede ser empleado como otro método de recuperación mecánica de derrames de petróleo.

Cabe mencionar que las alternativas existentes hasta la presente generan buenos resultados en cuanto a la recuperación de los hidrocarburos, no obstante, cada método tiende a perder su efectividad al enfrentarse a las condiciones climáticas o químicas propias de los territorios en donde se han generado los derramamientos de estas sustancias.

Por lo tanto, el uso tentativo de un textil no tejido como un nuevo método de recuperación de hidrocarburos derramados busca consolidarse como una alternativa extra, sin embargo, también puede llegar a verse afectado por las condiciones física propias de las áreas afectadas, debido a la tendencia que tiene el sustrato a quedar sumergido tras las pruebas de adsorción en prolongados periodos de tiempo, no obstante, representa un método más ecológico y económico.

A través del método de enfieltramiento por vía húmeda se consolidaron las muestras utilizando para ello una máquina de cardado y una plancha de vapor. Con la primera se separaron y paralelizaron las fibras de lana al mismo tiempo que se generaba la mezcla óptima con el

cabello. Obteniendo un velo que posteriormente se transformó en un colchón y finalmente con el planchado en no tejido laminar.

El cabello y la lana al tratarse de materiales con estructuras proteínicas presentan afinidad por los lípidos o grasas, es gracias a esta característica que se desarrolla un fenómeno físico en su estructura denominado adsorción, el cual básicamente es la captación de sustancias en la superficie de las fibras. Aprovechando esta característica se desarrolló el presente trabajo investigativo, buscando aprovechar las características propias de estos materiales con la finalidad de ayudar a remediar la contaminación generada por sustancias potencialmente contaminantes como el petróleo y sus derivados.

## **1.2 Antecedentes**

El uso de materiales como la lana y cabello como adsorbentes de petróleo ha sido estudiado a lo largo de los recientes años, donde se ha descubierto que ambos materiales son bastante efectivos y totalmente económicos para la recuperación y limpieza de derramamientos de petróleo sobre cuerpos de agua. Gracias a las propiedades de las fibras de lana y del cabello se genera la capacidad de retener en la superficie de sus estructuras, sustancias como el petróleo y sus diferentes derivados; estos materiales pueden retener este tipo de sustancias tanto en el agua como en la tierra. Una de las principales características de estas fibras es la presencia de queratina, se trata de una proteína con afinidad por el petróleo.

El uso de cabello y lana como adsorbentes se da gracias a la disponibilidad y bajo costo con el que se los puede conseguir, recientemente se ha empleado el cabello para adsorber derrames petroleros, introduciendo el pelo en mallas de nylon formando alfombras que posteriormente fueron sumergidas en el mar para remediar la contaminación generada por un

derrame de petróleo. El cabello ha demostrado ser un excelente adsorbente para recuperar hidrocarburos al igual que la lana. Es destacada la capacidad de estas materias primas en la recuperación de sustancias pétreas a comparación de otros métodos que emplean productos elaborados a base de polipropileno para recuperar hidrocarburos derramados. Ese tipo de materiales llegan a ser dañinos para la naturaleza generalmente acaban en vertederos provocando la contaminación del ambiente.

### **1.3 Importancia del estudio**

El petróleo es un recurso natural no renovable que es explotado a gran escala en todo el mundo, de este producto se obtienen derivados empleados en diversas industrias entre ellas la industria textil, donde es empleado para fabricar los hilados y tejidos sintéticos. En consecuencia, tanto la industria textil como las otras que dependen de este recurso deben empezar a considerar el uso de otras fuentes renovables para lograr minimizar la demanda y los vertidos del crudo.

Tomando en consideración la creciente preocupación social, alineándose a la legislación ambiental y a la viabilidad económica que requieren los proyectos actuales enfocados en la protección del ecosistema. Por medio del presente proyecto se trató de aportar a la industria textil un sustrato capaz de ayudar a remediar un derramamiento de petróleo sin generar una necesidad por fibras o productos sintéticos que continúen creando dependencia a los derivados.

Además, a través de la presente investigación se establece una fuente y un precedente propio de la industria textil para aportar información a aquellas personas cuyas investigaciones futuras se encuentren inmersas en la conservación de los ecosistemas.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 *Objetivo general*

Desarrollar una estructura laminar (no tejido) a base de materiales de lana y cabello humano para la limpieza de petróleo derramado en agua dulce a escala de laboratorio.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Analizar los métodos que se utilizan en la actualidad para la limpieza del petróleo derramado en los cuerpos de agua, los mismos que servirán como aporte en el objeto de estudio.
- Desarrollar las estructuras laminares (no tejidos) con materiales lana y cabello a través del método de enfieltramiento.
- Examinar la capacidad adsorbente de las estructuras laminares (no tejidos) a base de materiales orgánicos a través de la normativa ASTM F-726 (Método de prueba estándar para el rendimiento de adsorbentes de hidrocarburos químicos y ligeros).

El enfoque de la investigación se basó en el desarrollo del no tejido orgánico construido a partir del enfieltramiento de fibras de carácter proteínico y cabello. El sustrato responde a la concepción ecológica en la cual se tratan de englobar todos los procesos industriales desarrollados en la actualidad, obteniendo un producto biodegradable que garantiza la conservación de los recursos naturales no renovables, en este caso para realizar una limpieza ambiental.

El cabello humano en su mayoría no presenta rizo como la lana, sin embargo, también posee la capacidad de generar un tipo de enfieltramiento gracias a su estructura capilar, combinando estos materiales proteínicos en forma de un sustrato textil se obtuvo una estructura

laminar denominada no tejido totalmente orgánica y biodegradable capaz de recolectar hidrocarburos derramados sobre la superficie del agua.

#### 1.4 Características del sitio de proyecto

El proyecto de investigación fue llevado a cabo en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra en las instalaciones de los laboratorios de la Planta Académica Textil en la Carrera de Textiles de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. La planta se ubica en el barrio Azaya entre las calles Luciano Solano Sala, Morona Santiago y la Av. 13 de Abril, con Coordenadas Geodésicas 0.378673, -78.122237.

#### Figura 1

*Campus Planta Textil Azaya*



Fuente: Google Maps, (2023).

El laboratorio de ensayos físicos fue el escenario principal del presente proyecto, con ayuda del equipo denominado dinamómetro, se realizaron a escala de laboratorio pruebas de resistencia a las probetas desarrolladas.

## CAPÍTULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Estudios previos

La industria textil es un área que responde a una necesidad del hombre que es la protección contra los factores externos del ambiente, es decir, protege al ser humano del frío, calor, humedad, entre otros factores que pueden afectar la salud e higiene. Con el desarrollo de la industria surgieron nuevos tipos de hilados y tejidos, en virtud de tal desarrollo, surgen nuevos métodos de obtención de sustratos textiles, como los no tejidos que también responden a ciertas necesidades del hombre y las sociedades.

Los no tejidos se diseñaron para cumplir con ciertas funciones específicas, las propiedades de estos se combinan para responder a la rentabilidad de la vida útil versus el costo del sustrato. El desarrollo de los no tejidos brinda un amplio espectro de productos con variadas propiedades físicas y químicas, las telas no tejidas ofrecen una gama de géneros tales como: pañales desechables, toallas higiénicas, tampones, entretelas de prendas de vestir, aislantes, geotextiles, productos para el campo médico, entre otros.

En consecuencia, un no tejido es un sustrato textil que también puede ser pensado para ayudar a limpiar un derrame de petróleo o sus aceites derivados y debe responder positivamente a lo planteado. Es decir, este sustrato debe contar con una buena capacidad de sorción para lograr controlar el efecto devastador de este tipo de catástrofes ambientales.

El cabello humano ha mostrado un excelente potencial de sorción de derrames de petróleo en experimentos llevados a cabo previamente para medir su capacidad adsorbente, mostrando que puede adsorber de tres a nueve veces su peso en aceite vegetal, petróleo crudo y combustible diésel. También, se establece que luego de usar el cabello para la primera limpieza, la capacidad de sorción posterior no se ve afectada (Pagnucco et al., 2018).

Al comparar la capacidad adsorbente del cabello frente a otros subproductos del algodón, celulosa reciclada y barreras de polipropileno sintético se descubrió que tiene una marcada superioridad, es decir, por cada gramo de cabello se recupera 0,84 g de petróleo derramado. Esta diferencia se presume que resulta de la naturaleza heterogénea del cabello mixto. Sin embargo, presenta poca capacidad para flotar debido a su baja tensión superficial o aumento de porosidad (Radetic et al., 2008).

Tomando en consideración los fieltros formados con fibras de lana como un no tejido, nació la idea de elaborar este tipo de sustrato implementado el cabello humano y la lana en mezclas de variados porcentajes para calificar la resistencia y la capacidad adsorbente de estos sustratos frente a un agente contaminante de elevada demanda mundial.

## **2.2 El petróleo, extracción, tipos, derrames y remediación**

Los materiales pétreos son sustancias complejas en las que cohabitan partes sólidas, líquidas y gaseosas. Normalmente se forman a partir de hidrocarburos los que a su vez contienen

átomos de carbono e hidrógeno, también se conoce que el petróleo contiene pequeñas proporciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales (AOP, 2020).

La formación del petróleo requiere de materia orgánica como: restos de animales y plantas, así también se necesita de la acción de la presión de las capas de la tierra, altas temperaturas, ausencia de aire y acción de bacterias para luego de miles de años conformar el material pétreo, las bacterias anaerobias (es decir, que viven en ausencia de aire) jugaron un rol fundamental en la generación del petróleo (Sonnenberg et al., 2015).

La extracción del petróleo puede realizarse en diferentes formas desde la creación de un pozo en una zona no explorada hasta la explotación de zonas aledañas a pozos previamente trabajados, en cualquier caso, es importante realizar una breve investigación histórica de campo, además se necesita de un conjunto de análisis que permiten realizar una predicción aproximada sobre la calidad de la perforación, entre ellos están: sísmica del suelo, descripción geológica, estratigrafía, litología (Columba, 2017).

Como mencionan Morán et al., (2014); actualmente existen varias técnicas de perforación de pozos petroleros, sin embargo, la más empleada hasta la actualidad es la técnica direccional que consta de un conjunto de operaciones de perforación enfocadas en la recuperación de los hidrocarburos sin afectar a los ecosistemas silvestres, entre ellas se encuentran:

- **Perforación tipo J:** Es un pozo que cuenta con tres secciones definidas, la primera empieza en la superficie hasta el punto de desviación” *Kick off point*” (KOP), seguida de una sección de construcción de ángulo y finaliza con una tangente que alcanza el objetivo.

- **Perforación tipo S:** consta de cinco secciones las tres primeras son las mismas del tipo J, las dos últimas secciones corresponden a un tumbado de ángulo hasta la verticalidad que alcanza el material pétreo.
- **Perforación tipo Horizontal:** tiene tres secciones principales, la primera es vertical y llega hasta el punto de desviación (KOP), la siguiente sección se construye hasta alcanzar 90° de inclinación y finalmente la última sección navega a través de la tierra hasta alcanzar el objetivo.

La volatilidad del petróleo es una de las principales características que permiten determinar la temperatura del hidrocarburo para clasificarlo en base a eso como liviano o pesado. Una de las clasificaciones de crudo más reconocidas a nivel mundial son los grados API (Parámetro Internacional del Instituto Americano del Petróleo), aunque no tienen nada que ver con la temperatura es una clasificación empleada para medir la densidad del petróleo (Soriano & Ayala, 2020).

De acuerdo con la densidad el petróleo puede ser liviano ( $>31^\circ$  API), mediano (entre  $31,1$  y  $23,3^\circ$  API), pesado (entre  $23,3$  y  $10^\circ$  API) y extrapesado ( $<10^\circ$  API). De igual forma se pueden clasificar de acuerdo con la composición química, pueden ser ácidos si el porcentaje de azufre es superior al 2% de la composición, mientras que, si el contenido de azufre es menor al 0,5% se los considera como crudos dulces (Alayón González, 2013).

Dependiendo de la composición de los aceites, pueden ser parafínicos, nafténicos, mixtos, ácidos y bajos en azufre. Estos últimos dependen del contenido de azufre que existe en su composición, si tienen más de un 20% de azufre son ácidos y se consideran impuros, mientras que si poseen menos de un 0,5% de azufre en su composición son petróleos dulces muy puros (Wauquier, 2004).

En el Ecuador se han registrado varios casos de desastres ambientales a causa de los derrames de petróleo. Estos desastres provocan afecciones que contaminan el suelo y las aguas del territorio, poniendo en riesgo la flora, fauna y microorganismos generando problemas para su reproducción y desarrollo, además, genera un peligro para las personas aledañas a la zona afectada, generando problemas de salud que alteran el estilo de vida y perjudican los sistemas productivos de estas personas (Cavazos et al., 2014).

La contaminación ambiental generada por los derrames de petróleo en su mayoría ocasiona un elevado deterioro de la flora y fauna, además, un cambio drástico de los paisajes cuando se extiende a grandes hectáreas o fuentes hidrográficas (Velásquez et al., 2016).

### ***2.2.1 Remediación de derrames petroleros***

En la actualidad existen diversos métodos para remediar la contaminación generada por los hidrocarburos sobre el medio ambiente, entre las más reconocidas se encuentran:

- **Biorremediación:** Es una de las estrategias más modernas empleadas para solucionar esta problemática. A través del uso de microorganismos o enzimas se logra biodegradar los hidrocarburos y sus derivados de cuerpos de agua, suelo e incluso aire. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos como asfáltenos y resinas resultan difíciles de biodegradar, sin embargo, los hidrocarburos poli aromáticos pueden llegar a ser biodegradados con ayuda de bacterias capaces de biorremediar el ambiente, no obstante, este método requiere un control estricto de ciertas variables fisicoquímicas como: pH, temperatura, oxígeno, humedad, entre otros (Rodríguez et al., 2022).

Un claro ejemplo de la aplicación de este tipo de bacterias es el del biosurfactante “*Bacillus cereus* UPC 1615” que tiene la capacidad de biorremediar ambientes marinos contaminados por derramamientos de petróleo (Durval et al., 2020).

- **Dispersión química:** la dispersión química es otro método efectivo para mitigar los problemas generados por los derramamientos de crudo, básicamente se cubre la superficie afectada con sustancias químicas capaces de dispersar el aceite en pequeñas partículas que se logran mezclar con el agua marina ayudando a reducir los tiempos de biodegradación natural. Frecuentemente el método se aplica en las superficies acuáticas de los océanos debido a su capacidad para reducir la cantidad de petróleo derramado. No obstante, los dispersantes pueden generar alteraciones en el ambiente químico del entorno marino, además, al dispersar el crudo éste se hunde en el mar obstruyendo el paso de los rayos solares afectando a los microorganismos y generando reacciones adversas para las cadenas alimenticias existentes en los ecosistemas de las zonas afectadas (Prince, 2023).
- **Recuperación mecánica:** Es un método bastante efectivo que emplea barreras flotantes o estáticas tipo muros para contener la expansión de las aguas petroleadas de acuerdo con las características del sitio del derrame, una vez que se ha logrado contener el hidrocarburo se procede a realizar una recuperación de este con ayuda de equipos como sorbentes, aspiradores o skimmers (Etkin & Nedwed, 2021). Los skimmers son dispositivos flotantes previstos de bombas y paletas para recolectar de la superficie del agua el petróleo derramado. Mientras que, los sorbentes son todos los materiales capaces de absorber petróleo como los paños. Luego de recuperar los hidrocarburos derramados son almacenados y posteriormente transportados a instalaciones de tratamiento donde serán reutilizados o eliminados adecuadamente sin dañar el ambiente (Zhang et al., 2015). No obstante, la recuperación mecánica debe enfrentar ciertas limitantes como el volumen de petróleo derramado y la velocidad de

expansión, también la dificultad de accesibilidad a las zonas afectadas a causa de las corrientes marinas y la dirección del viento. Además, el método puede generar la eliminación de organismos marinos junto al petróleo (Broje & Keller, 2006).

### **2.3 Absorbentes, cabello humano, lana, propiedades y características**

El cabello humano como absorbente de petróleo es uno de los métodos más novedosos como muestran estudios previos son buenos los resultados sobre el pelo como adsorbente orgánico, por su parte la lana es poco convencional en este tipo de actividades, no obstante, es ambientalmente amigable para la remoción de hidrocarburos de superficies acuáticas. Se conoce que la lana como fibras sueltas o en estructuras como no tejidos adsorbentes muestra una elevada capacidad de sorción para diferentes tipos de aceites como: petróleo crudo, combustible diésel, aceite base entre otros, además, demuestra una adecuada reutilización (Rajakovic et al., 2007).

En investigaciones previas donde se emplearon fibras sueltas de lana y como no tejidos para la adsorción de aceite de aguas residuales, se registraron excelentes resultados, para las fibras sueltas 5,56 g/g mientras que para el no tejido 5,48 g/g los resultados del estudio muestran una variación poco significativa de 1,43 % respecto a la capacidad de sorción de la lana en condiciones ambientales estándar durante 1 hora. Para el no tejido en los estudios previos se elaboraron muestras con las siguientes características: peso ( $\text{g/m}^2$ ): 235, resistencia a la rotura (N): 19, 23, resistencia al estallido (N): 21,97, espesor: 1,56 (Rajakovic et al., 2007).

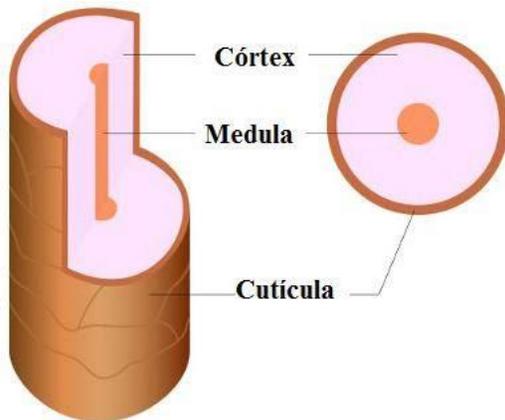
- **Cabello:** Como se puede apreciar en la *Figura 2*

Estructura del cabello, el cabello se compone de tres partes esenciales, entre ellas la cutícula que es una capa externa que rodea al cabello, el córtex en cambio se encuentra debajo de la cutícula, mientras que la médula es la parte central de cabello.

Entre las principales características del cabello destaca la resistencia al estiramiento no lineal gracias a la fibra que conforma al córtex que opone resistencia a la elongación. La capacidad elástica máxima del cabello llega hasta un 30% de elongación. Otro factor importante que presenta el cabello es la adsorción de lípidos, los cuales son un conjunto de moléculas orgánicas compuestas por carbono e hidrógeno que se subdivide en grasas o aceites, fosfolípidos y ésteres (Arroyo, 2016).

## Figura 2

### *Estructura del cabello*



Fuente: (IDEI Dermatología, 2018)

- **Lana:** Se trata de una fibra natural que ha sido empleada por el hombre desde hace miles de años, presenta buena suavidad y termorregulación corporal en prendas, entre otras características que la hacen ideal para la producción de sustratos textiles. Se la puede obtener de animales como las ovejas, cabras, camellos y alpacas. Su estructura es frecuentemente rizada con escamas, se la puede clasificar en función a la calidad, finura y longitud de las fibras.

## **2.4 No tejidos, tipos, propiedades y características**

Los no tejidos son láminas, velos o napas que se componen por el entrelazamiento físico, químico o mecánico de diferentes tipos de fibras o filamentos. Son géneros textiles que se componen de variados tipos de fibras que pueden ser de origen animal, vegetal o sintéticos que se entrelazan a través de métodos especiales, por medios mecánicos (agujas), químicos (adhesivos) y térmicos. Sin embargo, los no tejidos actualmente no dependen de técnicas convencionales para ser transformados en hilos o telas. Los no tejidos son elaborados para que cuenten con larga durabilidad o para un único uso, son empleados para tareas específicas como absorción, limpieza, filtros entre otros. Son cada vez más empleados en diferentes aplicaciones y necesidades del mercado gracias al aporte innovador y eficiente que ofrecen, además, su costo de fabricación es menor en comparación a los tejidos convencionales e incluso pueden llegar a ser más duraderos (Bonilla, 2018).

Según INDA (2022). los no tejidos son estructuras laminares o de telas unidas entre sí por fibras o filamentos entrelazados de forma mecánica, térmica o química. Son láminas planas y porosas que se fabrican a través de fibras separadas o filamentos fundidos. Algunas de las propiedades que presentan los no tejidos son: absorbencia, barrera bacteriana, amortiguación, filtración, repelencia de líquidos, entre otros. Como menciona la norma NTE INEN-ISO 9092 (2011). Los no tejidos son estructuras textiles elaboradas a partir de fibras, filamentos o hilos de cualquier origen o naturaleza que, a través de variados métodos se pueden desarrollar, formando redes sin entrelazar hilos como en las telas tejidas, tricotadas, trenzadas o afelpadas.

Los no tejidos se caracterizan por presentar altos indicadores de producción, son elaborados a través de procesos más rápidos y menos complejos que cualquier método convencional de fabricación de tejidos. La producción de 500 000 metros de tejido requiere de

aproximadamente de 6 meses de arduo trabajo, mientras que para elaborar la misma cantidad de no tejidos quiere apenas 2 meses (Bonilla, 2018).

Los no tejidos se clasifican de acuerdo con el gramaje de la siguiente manera:

- Livianos: menores a  $25 \text{ g/m}^2$
- Medianos: entre 26 y  $70 \text{ g/m}^2$
- Pesados: entre 71 y  $150 \text{ g/m}^2$
- Muy pesados: mayores a  $150 \text{ g/m}^2$

También se los puede clasificar de acuerdo con el tipo de formación de la manta, siendo esta una estructura sin consolidar que se forma por una o más capas de velos de fibras o filamentos que se obtienen por diferentes procesos como:

- **Vía seca:** También conocida como Dry Laid, se elaboran no tejidos a través de procesos como el cardado (Carded) y por vía aérea (Air Laid). Con el proceso cardado se logran paralelizar las fibras formando velos o capas que posteriormente se pueden unir para formar la manta del no tejido de acuerdo con el espesor requerido. Mientras que, el proceso de flujo de aire suspende las fibras en un flujo de aire para finalmente dejarlas caer como una manta formada.
- **Vía húmeda:** En este proceso también denominado (Wet Laid), las fibras se suspenden en un medio acuoso para finalmente recolectarlas con ayuda de filtros sobre una cama que da lugar a la formación de la manta.
- **Vía fundida:** La formación de velos por vía fundida se realiza a través de dos procesos principales: fijación continua (Spunweb o Spunb) y vía soplada (Meltblown). El primero funde los polímeros termoplásticos para luego enfriarlos y estirarlos depositándolos al

final en forma de velo. Por su parte, el proceso Meltblown toma los polímeros y los pasa por un extrusor obteniendo filamentos muy finos, posteriormente los condensa con aire caliente que circula en la parte final de la extrusora, finalmente sopla los filamentos con aire frío a altas velocidades hacia una tela colectora que da lugar a la formación del velo (Biedma, 2016).

Como menciona (Borovich, 2018). Los procesos de formación de los no tejidos son empleados para formar velos, la unión de estos da como resultado la formación de mantas no consolidadas, para consolidarlas o darles un acabado que ayude a obtener un no tejido resistente y con características adecuadas se deben emplear los siguientes métodos:

- **Mecánico:** Se emplean tres métodos, el primero por agujas para lograr entrelazar las fibras o filamentos a través de la perforación de una gran cantidad de agujas que tienen micro ganchos salientes. El segundo por hidro enlazamiento donde se logra entrelazar las fibras con ayuda de chorros de agua a altas presiones. El tercero se trata de un método de costura donde se emplean los propios hilos del no tejido para consolidar el no tejido.
- **Químico:** Aplican resinas para unir las fibras del no tejido, estas pueden ser aplicadas por diversas formas, no obstante, las más recomendables son: por spray o a través de un baño de espuma.
- **Térmico:** Se trata de un proceso que entrelaza fibras de los no tejidos aplicando temperatura, de tal manera que las fibras se fundan entre sí o por acción de la temperatura misma incrementen sus risos logrando entrelazarse. El método se aplica a través de calandras o cilindros perforados por donde pasa aire caliente.

Según Chicaiza (2018), los fieltros son otra variante que es parte del novedoso universo de los no tejidos, un fieltro es un género textil no tejido que se genera por el entrelazamiento de

fibras sin tramado ni costura. De elaboración mayormente artesanal a partir de lana o pelo de animales. Se elabora a través de técnicas químicas, presión y vapor. Existen dos tipos principales de fieltros:

- **Fieltros en seco:** También conocidos como punzonados, donde se emplean agujas que logran entrelazar las fibras mientras las frotan.
- **Fieltros en húmedo:** Para la elaboración de fieltros a través de este método se requiere agua caliente, jabón y fricción; para lograr obtener fieltros más resistentes. Los fieltros elaborados con este método también se clasifican en: fieltros cobweb, fieltros nuno y fieltros cocinados. Los primeros son fieltros ligeros como tela de araña, se elaboran con pocas cantidades de vellón produciendo una malla de fibras agujereada. El segundo tipo de fieltros se genera a partir de la unión de la lana con otros tipos de fibras textiles, se aplica detergente y fricción para obtener no tejidos llamativos. Mientras que los fieltros cocinados se desarrollan a partir de un tejido previamente elaborando de lana, se somete el tejido a un lavado caliente con detergente a una temperatura promedio de 80°C; generando en el tejido un enfieltroamiento al cual finalmente se le da una forma específica.

## **2.5 Marco Legal**

El presente trabajo se fundamentó legalmente por varios tipos de reglamentos, leyes y artículos que sustentan el manejo ético de los recursos y del medio ambiente tomando en consideración los derechos de los autores a elaborar sus trabajos detallados a continuación:

### **Constitución de la República del Ecuador, 2008**

#### **Título II: Derechos**

##### **Capítulo primero: Principios de aplicación de los derechos**

**Sección cuarta:** Cultura y ciencia

Como se menciona en la Constitución de la República del Ecuador (2008). En el **Art. 22:**

Las personas tienen derecho a desarrollar su capacidad creativa, al ejercicio digno y sostenido de las actividades culturales y artísticas, y a beneficiarse de la protección de los derechos morales y patrimoniales que les correspondan por la producción científica, literaria o artística de su autoría. (pp. 15-16)

**Capítulo séptimo:** Derechos de la naturaleza

Como amerita el cumplimiento de los tratados de los derechos de la naturaleza en el **Art. 72.** de la Constitución de la República del Ecuador (2008). Se menciona que:

La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En caso de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas. (p. 33)

## CAPÍTULO III

### 3.1 Metodología de la investigación

Se trata de un conjunto de procedimientos y técnicas que deben ser aplicados ordenadamente bajo la sistemática de llevar a cabo un estudio. A través de la metodología se eligen las técnicas y métodos que se van a desarrollar en base a la investigación. Gracias a esta etapa del proyecto de investigación se logra determinar el proceso de redacción, orden y análisis de datos obtenidos durante la investigación (Coelho, 2020).

La metodología de investigación es también un método a través del cual se busca resolver un problema mediante la recolección de datos que posteriormente son analizados para emitir determinadas conclusiones propias de la investigación (De La Cruz, 2016). Esta metodología conserva dos enfoques principales para su desarrollo, el primer enfoque es el cuantitativo el cual es secuencial y probatorio.

El enfoque cuantitativo comienza desde una idea que luego debe ser delimitada para obtener objetivos y preguntas de investigación, a través de la literatura también se construye el marco teórico del proyecto. Con las preguntas se establecen hipótesis y variables que permiten

generar mediciones de los fenómenos que son parte del problema de investigación para analizarlas mediante métodos estadísticos extrayendo finalmente un conjunto de conclusiones (Hernández, 2014).

Según, el enfoque cualitativo de investigación tiene la característica principal de que puede establecer interrogantes de indagación y conjeturas previamente, en el transcurso o al final de la recopilación y revisión de los datos. Básicamente este enfoque recoge datos y los revisa para mejorar las preguntas de la investigación o a su vez mostrar nuevas interrogantes durante el proceso de interpretación (Hernández, 2014).

### **3.2 Tipo de Investigación**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se aplicó el enfoque cuantitativo para la recolección de datos a fin de establecer las variables propias del fenómeno analizado, adquiriendo finalmente datos que fueron sometidos a los análisis estadísticos necesarios para lograr interpretar los resultados y sentar las conclusiones respectivas.

#### ***3.2.1 Investigación Cuantitativa***

Es la ruta o enfoque principal a través del cual se desarrolla la investigación, se centra en la medición de variables y datos por medio de la estadística que son recopilados con pruebas o ensayos de laboratorio ejecutados con el objetivo de resolver un problema o hipótesis previamente previstos en la investigación (Monje, 2021).

#### ***3.2.2 Investigación bibliográfica***

La investigación bibliográfica se enfoca en la recopilación de sustento bibliográfico existente en revistas y plataformas de investigación científica como ScienceDirect, Google

académico, Scopus, entre otros. Respalda la información aportada a la investigación con el respectivo reconocimiento a los autores de las investigaciones llevadas a cabo previamente.

La investigación bibliográfica o documental se basa en la observación y recopilación de material bibliográfico que aporte al tema de investigación, es también considerada un paso esencial de cualquier estudio porque abarca un conjunto de pasos interpretación, reflexión y el análisis para obtener las bases necesarias para desarrollar un tema de investigación (Gómez-Luna et al., 2014).

### ***3.2.3 Investigación experimental***

Este método de investigación consiste en tomar un objeto como la variable independiente y someterlo a diferentes condiciones, estímulos o tratamientos, para observar los efectos o cambios que se generan que a su vez representan la variable dependiente, por tal motivo una investigación experimental se considera exitosa cuando se genera un cambio en la variable dependiente tras la manipulación de la variable independiente. Es fundamental determinar la causa y el efecto de un fenómeno, necesariamente se debe aclarar que los efectos observados en un experimento se generan a partir de una causa (Guevara et al., 2020).

Una de las principales ventajas que aporta este tipo de investigación a un determinado estudio es que permite el uso de la estadística inferencial: donde es posible hacer generalizaciones a partir de las muestras de los objetos analizados. Generando de ese modo un mayor control de las variables para alcanzar los resultados esperados.

### ***3.2.4 Investigación analítica***

El método de investigación analítica es bastante útil en campos de estudio nuevos o poco explorados donde se emplea como una herramienta que ayuda a descubrir las relaciones y

características principales de un objeto de estudio, también promueve el aprendizaje de los aciertos experimentales como de los errores. Además, es un modelo de estudio científico fundamentado por la experiencia directa y la lógica empírica, analiza los fenómenos descomponiéndolos en sus elementos más básicos. Consiste en aplicar la experiencia directa en la obtención de pruebas o resultados para respaldar un razonamiento o hipótesis a través de mecanismos como la estadística (Ortega, 2020).

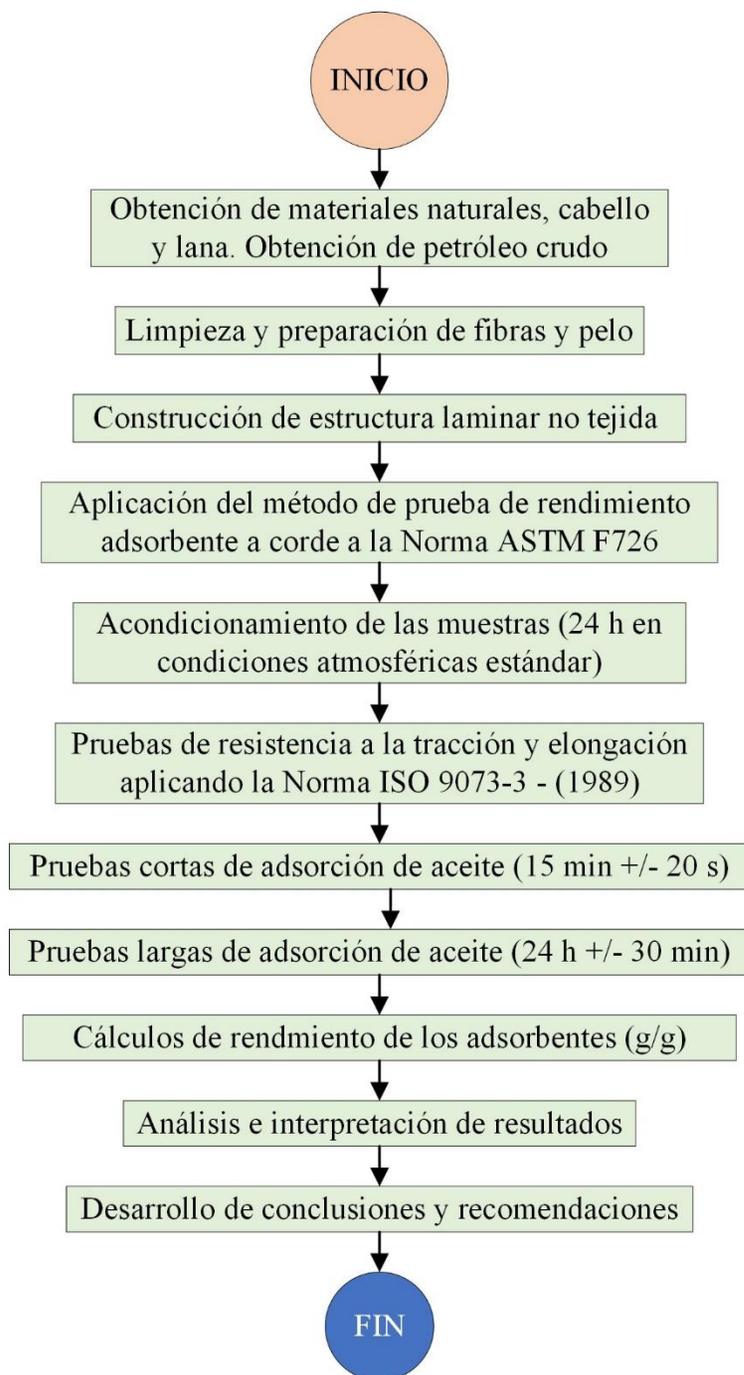
### **3.3 Hipótesis**

La hipótesis básicamente representa la relación que existe entre dos o más variables dentro de una investigación, esta herramienta debe respaldarse de suficiente teoría para dar lugar al desarrollo de un estudio, proporcionando una posible respuesta a la interrogante principal de la investigación.

Ho: “Las estructuras laminares (no tejidos) elaborados a base de cabello humano y lana no poseen buena sorción en fase líquida del crudo de petróleo derramado sobre cuerpos de agua dulce a escala de laboratorio.”

### **3.4 Flujograma general**

Tal como se muestra en la **Figura 3**, se detalla el flujograma general de proceso que se siguió a fin de alcanzar los objetivos deseados, tras aplicar el proceso de formación de los tejidos y las normativas de evaluación para las muestras según las normativas: ISO 9073 (pruebas de resistencia a la tracción y elongación para los no tejidos) y ASTM F726 (método de prueba estándar para el rendimiento absorbente de adsorbentes para uso en petróleo crudo y derrames relacionados).

**Figura 3***Flujograma general de proceso*

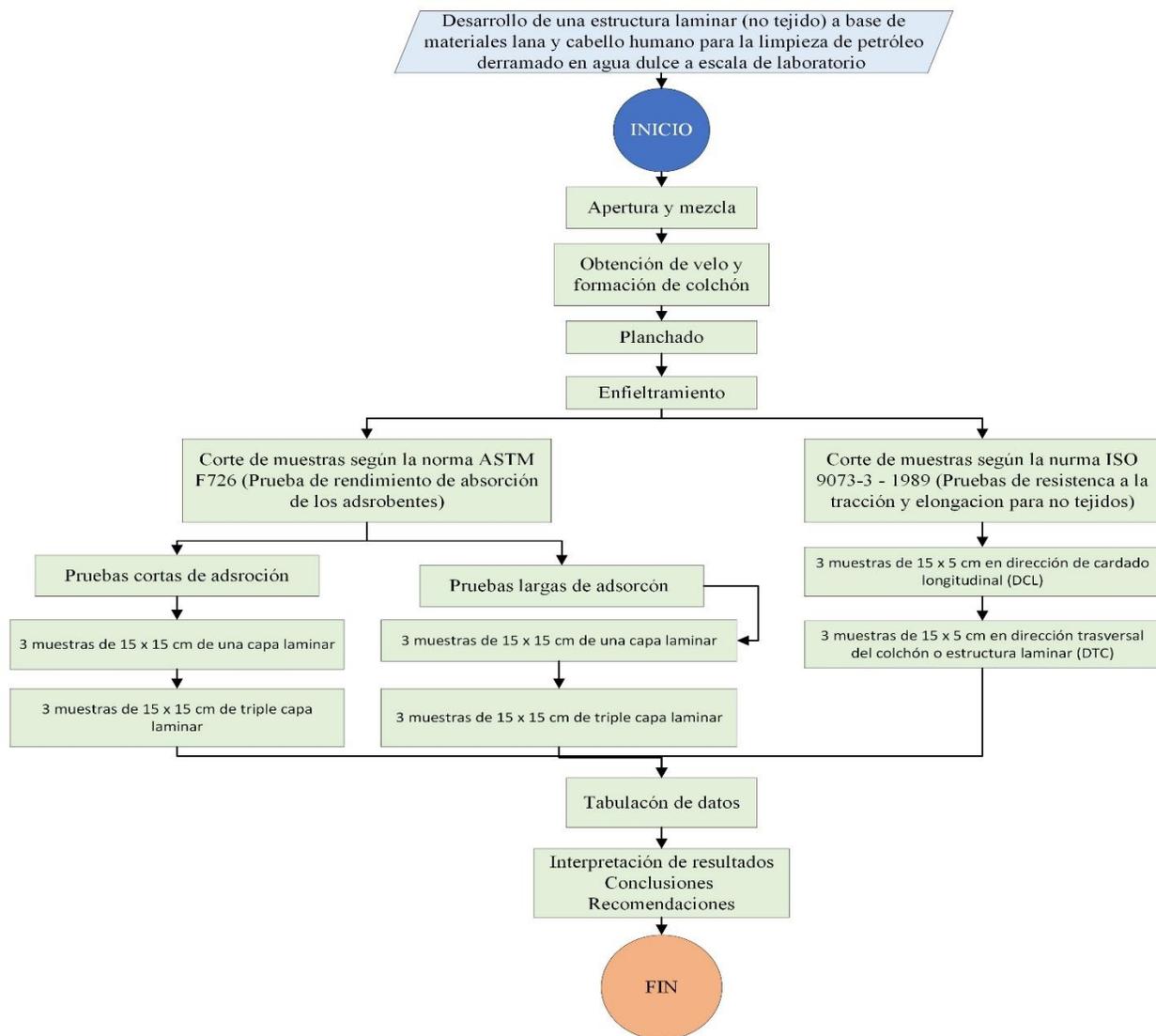
Fuente: Propia

### 3.6 Flujograma muestral

A través del flujograma muestral detallado en la **Figura 4**, se muestran los pasos llevados a cabo para la elaboración y evaluación de las muestras de no tejido.

**Figura 4**

*Flujograma muestral*



Fuente: propia

### 3.6 Métodos y técnicas

A continuación, se detallan las normas empleadas para analizar las características de los no tejidos como: resistencia a la rotura, rendimiento de adsorción en lapsos cortos y largos de tiempo.

- **ISO 9073-3:1989:** Determinación de la resistencia a la tracción y el alargamiento. La norma proporciona los procedimientos adecuados para evaluar las propiedades mecánicas de los no tejidos, a través de esta norma es posible determinar la resistencia a la rotura y la capacidad elástica de sustratos no tejidos. (Organización Internacional de Normalización, 1989)
- **ASTM F726-12:** Se trata del método de prueba empleado para determinar la capacidad adsorbente de un material en condiciones controladas de laboratorio. Es decir, el método de prueba cubre los ensayos de laboratorio que muestran el rendimiento adsorbente de los adsorbente utilizados en la separación de aceites no disueltos y otros líquidos flotantes e inmiscibles de la superficie de los cuerpos de agua (ASTM International, 2012)

### 3.7 Equipos y materiales

El presente proyecto fue desarrollado con ayuda de los siguientes equipos y materiales necesarios para la formación del no tejido y la evaluación de sus características:

- **Abridora:** Es un artefacto encargado de abrir las fibras eliminando las impurezas presentes en la materia prima, además, facilita el proceso de mezcla de fibras. La máquina se encuentra indicada en la **Figura 5**.

**Figura 5***Máquina abridora de fibras*

Fuente: (Enríquez, 2022)

- **Carda:** Es una máquina capaz de separar, individualizar, paralelizar y limpiar las fibras. Para conseguir una masa de fibras tipo velo donde las fibras son más homogéneas, ordenadas y limpias.

**Figura 6***Carda lanera*

Fuente: (Enríquez, 2022; Hammer Shop, 2023)

- **Plancha:** Equipo empleado para consolidar el no tejido con movimientos giratorios aplicando vapor y presión.
- **Dinamómetro (Titán Universal Stensth Tester):** Se trata de un dispositivo mecánico empleado para medir la fuerza de compresión o estiramiento aplicada a un determinado objeto, en este caso se ejecutó como un mecanismo que mide la fuerza generada durante la tracción de sustratos textiles. Esta herramienta de laboratorio es capaz de determinar la fuerza aplicada en un rango muy amplio que parte desde los kN hasta los MN.

Este artefacto genera una serie de resultados altamente precisos que son registrados inmediatamente en un ordenador, se transmiten los resultados obtenidos a través de un cable de datos para procesarlos inmediatamente (PCE Instruments, 2018).

### Figura 7

#### *Dinamómetro*



Fuente: Propia

- **Celdas de prueba:** Platos de cristalización de vidrio de borosilicato tipo pírex para evaluar la adsorción de aceites de los adsorbentes, las medidas recomendadas de estos instrumentos son: 19 cm de diámetro por 10 cm de profundidad con cubierta de vidrio. Para el desarrollo del análisis antes descrito se ha realizado una adaptación de los instrumentos que sugiere la norma ASTM F726, empleando pyrex de plástico de medidas similares con cubierta.

Las celdas de prueba son empleadas para simular las condiciones reales a las que los materiales adsorbentes serán sometidos, con estas herramientas se pueden obtener datos precisos y reproducibles para determinar el rendimiento del adsorbente bajo condiciones reguladas. Algunos de los datos que se pueden obtener son, por ejemplo, la capacidad de adsorción, la eficiencia de remoción del contaminante y la vida útil (ASTM International, 2012).

### Figura 8

*Plato de cristalización de vidrio de borosilicato tipo pyrex*



Fuente: (Hammer Shop, 2023)

- **Balanza de carga superior:** La Norma ASTM F726 sugiere el uso de una balanza con capacidad de carga de 400 g para evaluar el contenido recogido de crudo de petróleo. En este caso se empleó una balanza electrónica con capacidad máxima de 5 kg.

La balanza de carga superior brinda una medición más estable y segura, al tener las muestras debajo del mecanismo de pesaje se reduce la probabilidad de que las muestras se deslicen durante la aplicación del peso. Generalmente este factor influye en la confiabilidad de los resultados. Es decir, se empleó este tipo de balanza fue empleado para obtener cantidades precisas debido a que se requiere de una mayor capacidad en comparación a las balanzas analíticas.

### Figura 9

*Balanza electrónica de carga superior*



Fuente: Propia

- **Cabello humano:** Fue obtenido con ayuda de las peluquerías aledañas a la zona del proyecto, donde se recolectó el pelo de desecho del trabajo cotidiano de estas profesiones, al tratarse de un material de desecho ha sido complejo clasificar o categorizar los tipos de pelo, no obstante, el pelo recolectado fue del tipo lacio con diferentes longitudes y pesos. Cada paquete de pelo recolectado fue sometido a un proceso de limpieza para eliminar impurezas y sustancias adheridas.

### 3.8 Proceso

El no tejido fue elaborado siguiendo el siguiente procedimiento: Primero se recolectaron los cabellos de 3 peluquerías (Titán, Gatubelas, Mary), estos fueron sometidos a un lavado con detergente común para eliminar sustancias cerosas o impurezas albergadas en la superficie. Una vez realizado el lavado, se procedió al secado en condiciones ambientales estándar, bajo la influencia de la radiación UV solar.

Los pelos secos se separaron en tres lotes de almacenamiento de acuerdo con la peluquería de origen, esto con la finalidad de medir la longitud promedio, se tomaron 15 muestras de cada paca. La longitud promedio de los cabellos se valoró a través **Tabla 1**, donde se detallan los valores obtenidos.

Posteriormente, se pesó el pelo recolectado en su totalidad obteniendo un valor de 2.89 kg, enseguida el cabello se sometió al proceso de apertura eliminando impurezas persistentes, luego en el cardado se desarrollaron pruebas para comprobar la resistencia del velo, donde se verificó que al trabajar únicamente con el pelo se obtuvo un velo frágil con muy poca resistencia.

Por esa razón, se decidió emplear una mezcla de 50/50 cabello y lana, el velo resultante obtuvo un incremento significativo en su resistencia a la manipulación, sin embargo, la mezcla no se

consolidó homogéneamente, del 50% de cabello aplicado apenas el 25% se quedó contenido en la estructura del velo.

Tras obtener varias capas de velo se procedió a juntarlas en un solo colchón de varios velos que finalmente fue sometido a un proceso de planchado que aplica presión y vapor.

**Tabla 1**

*Longitud promedio del cabello humano*

<b>Nº muestra</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>
<b>1</b>	2,4	2,1	0,5
<b>2</b>	1,3	2,9	0,85
<b>3</b>	1,8	3,8	0,95
<b>4</b>	2,6	5,9	3,6
<b>5</b>	2,1	0,98	4,9
<b>6</b>	2,9	6,3	4,6
<b>7</b>	0,8	7,4	4,1
<b>8</b>	0,9	3,4	4
<b>9</b>	0,57	3,8	3,2
<b>10</b>	1,3	3,1	5,8
<b>11</b>	1,6	4,8	4,3
<b>12</b>	2,5	4,2	4,7
<b>13</b>	4,8	3,8	3,6
<b>14</b>	3,9	3,2	3,2
<b>15</b>	4,9	1,8	2,3
<b>Longitud Promedio</b>	<b>2,29</b>	<b>3,83</b>	<b>3,37</b>

Fuente: Propia

Para evaluación de las propiedades del colchón o estructura laminar obtenida de no tejido cardado, se aplicó el método de prueba descrito por la Norma ISO 9073-3\_1989 que valora la resistencia a la tracción y elongación de los no tejidos. Además, se aplicó el método estandarizado para la evaluación del rendimiento absorbente de los adsorbentes para la eliminación de aceites no emulsionados y otros líquidos flotantes e inmiscibles de la superficie del agua (ASTM F726-12).

## CAPÍTULO IV

### 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tras la aplicación de los métodos de evaluación previamente mencionados, se han podido recopilar una serie de resultados con orden y objetividad, para abordar un análisis adecuado acorde a los resultados esperados en la hipótesis nula del presente proyecto.

Para llevar a cabo las pruebas de evaluación de los no tejidos, se empleó los equipos propios del laboratorio de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte, campus Azaya. En primera instancia se evaluó la resistencia de los no tejidos a la tracción o rotura y su grado de elongación, posteriormente se llevó a cabo la evaluación del rendimiento adsorbente de las estructuras laminares elaboradas con lana y cabello.

Tomando en consideración que todas las muestras fueron sometidas a un proceso de acondicionamiento sugerido por los métodos de prueba seleccionados para el presente estudio. El acondicionamiento de las muestras consistió en dejarlas reposar durante 24 horas a una temperatura promedio de  $23 \pm 4$  °C y  $70 \pm 20\%$  de humedad relativa.

#### ***4.1.1 Resultados de resistencia a la tracción (N) y porcentaje de elongación***

Se han registrado y organizado los resultados obtenidos tras aplicar una fuerza constante de 5000 Newtons con la mordaza especificada por la Norma ISO 9073-3\_1989 para los no tejidos.

Donde se han podido constatar los diferentes comportamientos presentados por las probetas en función del tiempo de aplicación de la fuerza, tomando en consideración el peso de cada probeta. Cabe mencionar que se han elaborado 10 muestras para la ejecución del método donde las 5 primeras corresponden a la dirección de cardado longitudinal (DCL) y las otras 5 a la dirección transversal del colchón o estructura laminar (DTC).

Las medidas recomendadas por la Norma ISO 9073-3\_1989, para cortar las probetas son: (15 x 5 cm), las muestras fueron obtenidas de una misma capa de no tejido, 5 en sentido transversal y 5 en sentido longitudinal.

A pesar de ser cortadas de una misma capa presentaron diferencias en el peso de cada una, es evidente que la diferencia de estos valores es producto de la baja cohesión entre las fibras de lana y el cabello humano, debido a la falta de rizo en la estructura de este último.

A través de la **Tabla 2**, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la tracción y elongación de las probetas analizadas en dirección de cardado longitudinal y transversal.

Es importante mencionar que todas las muestras sometidas a estas pruebas sufrieron una pretensión de 2N, con una separación de las mordazas del dispositivo dinamómetro de 100 mm. Cumpliendo con los requerimientos de la Norma ISO 9073-3\_1989.

Además, con la finalidad de asegurar que todas las muestras de prueba fueron evaluadas bajo las mismas condiciones, se mantuvo una velocidad constante de 100 mm/min para cada proceso de prueba.

**Tabla 2**

Resultados obtenidos del método ISO 9073-3\_1989

<b>Probeta No.</b>	<b>Dirección de cardado longitudinal (DCL)</b>			<b>Dirección transversal del colchón (DTC)</b>		
	Fuerza máxima (N)	Extensión (%)	Tiempo de rotura (s)	Fuerza máxima (N)	Extensión (%)	Tiempo de rotura (s)
<b>1</b>	160,45	83,74	0:56	90,33	94,36	1:02
<b>2</b>	132,67	69,95	0:45	83,36	111,78	1:17
<b>3</b>	125,67	63,22	0:42	80,1	88,02	1:00
<b>4</b>	155,53	68,95	0:45	99,62	71,97	0:48
<b>5</b>	139,33	65,59	0:44	90,12	86,26	0:56
<b>Media</b>	142,73	70,29	0:47	88,71	90,48	1:00
<b>Min</b>	125,67	63,22	0:42	80,1	71,97	0:48
<b>Max</b>	160,45	83,74	0:56	99,62	111,78	1:17
<b>Rango</b>	34,78	20,52	0:14	19,52	39,81	0:29
<b>Mediana</b>	139,33	68,95	0:45	90,12	88,02	1:00
<b>Desviación típica</b>	14,85	7,98	0:05	7,52	14,45	0:10
<b>Límites de confianza</b>	±18,41	±9,89	±00:06	±9,32	±17,92	±00:13
<b>Coefficiente de Variación</b>	10,40%	11,35%	11,87%	8,48%	15,97%	17,39%

Fuente: Propia

#### ***4.1.3 Resultados de las pruebas de adsorción de petróleo***

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al aplicar las pruebas de rendimiento sorbente de los absorbentes orgánicos elaborados a partir de lana y cabello. Las pruebas fueron llevadas a cabo tomando en consideración la técnica de evaluación ASTM F726-12 (método de prueba estándar para el desempeño adsorbente de los absorbentes).

Para medir el rendimiento adsorbente de las probetas utilizadas, se ha empleado la siguiente fórmula, que describe una relación peso sobre peso para generar una estimación de cuanto petróleo ha sido recolectado por la estructura o material utilizado, en este caso una estructura laminar desarrollada a partir de pelo y cabello humano.

$$S_S = \frac{S_F - S_O}{S_O} \quad (1)$$

Dónde:

**S<sub>S</sub>**: Capacidad de adsorción de petróleo (g/g)

**S<sub>O</sub>**: Peso en seco del adsorbente (g)

**S<sub>F</sub>**: Peso final del adsorbente (g)

La norma sugiere el análisis del rendimiento de los materiales empleados para el estudio bajo dos parámetros principales, las pruebas cortas y largas, a través de las cuales se logra determinar el comportamiento del material utilizando con una estimación numérica.

- **Pruebas cortas de adsorción (15 min):** a través de las pruebas cortas de adsorción se sometió el material adsorbente elaborado con lana y pelo para comprobar su rendimiento adsorbente en el menor tiempo posible, donde básicamente se prepara las celdas de prueba con una capa de agua dulce común y silvestre con un espesor de al menos 2,5 centímetros, posteriormente se derramó una capa de 2,5 centímetros de petróleo crudo y finalmente se depositó sobre la superficie del contaminante el material adsorbente. Al cabo de 15 minutos +/- 20 segundos se procedió a retirar la probeta de la celda de prueba.

Todas las probetas fueron colocadas sobre una malla de drenado como recomienda la norma, tras un tiempo de 5 segundos de drenado se procedió a pesar las muestras y registrar los valores obtenidos. Para comparar la capacidad adsorbente entre las probetas empleadas se aplicaron probetas laminares de una única capa con un grosor promedio de 0,5 cm y probetas con triple capa laminar de 2 cm de grosor promedio.

- **Pruebas largas 24 horas +/- 30 minutos:** Este tipo de evaluación también fue aplicada para medir la capacidad máxima de un material para recolectar aceite en su estructura, tomando en consideración que, en condiciones normales de uso, la muestra no estaría expuesta a una capa de aceite de suficiente espesor como para llegar a saturarse. Por consiguiente, la prueba facilita los resultados de la capacidad máxima y en un tiempo idealizado hasta la saturación. Además, la prueba provee datos de laboratorio idealizados que pueden ser empleados para comparar la capacidad de un adsorbente con otro (ASTM International, 2012).

De igual forma que en el proceso de los ensayos cortos se prepararon las celdas de prueba con agua dulce y el aceite de prueba y se dejó en reposo las muestras o probetas durante 24 horas de exposición bajo condiciones estándar de temperatura y humedad. Cabe mencionar que todas las probetas fueron debidamente selladas para evitar cualquier tipo de intervención de partículas flotantes existentes en el ambiente.

Se han registrado los datos obtenidos tras la exposición al derrame de petróleo bajo escala de laboratorio indicados en la **Tabla 3**, para determinar la capacidad adsorbente de las muestras empleadas, es importante aclarar que en todas las pruebas de adsorción llevadas a cabo se ha evaluado subjetivamente el aspecto resultante del agua residual de las celdas de prueba.

Obteniendo mejores resultados luego de emplear las probetas de triple capa de no tejido para la recolección del aceite de petróleo.

**Tabla 3**

*Rendimiento adsorbente en pruebas cortas y largas de las probetas de no tejido*

<b>Pruebas cortas de adsorción</b>														
<b>Probeta</b>	No. Capa laminar		Densidad		Tiempo (15 min +/- 20 s)		Peso						SS (g petróleo/g adsorbente)	
	A	B	A	B	A	B	So (g)		Sf (g)		Sf-So (g)		A	B
	No.						A	B	A	B	A	B		
<b>1</b>	1	3	0,08	0,10	15,28	15,33	7	34	106	109	99	75	14,14	2,21
<b>2</b>	1	3	0,07	0,10	15,27	15,30	6	35	109	104	103	69	17,17	1,97
<b>3</b>	1	3	0,08	0,11	15,25	15,28	8	38	105	110	97	72	12,13	1,89
<b>4</b>	1	3	0,09	0,11	15,32	15,30	9	36	107	118	98	82	10,89	2,28
<b>5</b>	1	3	0,06	0,11	15,30	15,25	5	36	108	103	103	67	20,60	1,86
<b>6</b>	1	3	0,06	0,09	15,28	15,27	7	30	108	108	101	78	14,43	2,60
<b>Pruebas largas de adsorción</b>														
<b>Probeta</b>	No. Capa laminar		Densidad		Tiempo (24 h +/- 30 min)		Peso						SS (g petróleo/g adsorbente)	
	A	B	A	B	A	B	So (g)		Sf (g)		Sf-So (g)		A	B
	No.						A	B	A	B	A	B		
<b>1</b>	1	3	0,08	0,11	24,42	24,33	9	38	110	225	101	187	11,22	4,92
<b>2</b>	1	3	0,06	0,09	24,33	24,32	5	32	109	220	104	188	20,80	5,88
<b>3</b>	1	3	0,08	0,09	24,17	24,30	7	30	104	222	97	192	13,86	6,40
<b>4</b>	1	3	0,09	0,10	24,20	24,25	6	35	106	218	100	183	16,67	5,23
<b>5</b>	1	3	0,05	0,10	24,30	24,20	8	33	108	224	100	191	12,50	5,79
<b>6</b>	1	3	0,05	0,11	24,37	24,13	7	36	109	216	102	180	14,57	5,00

Fuente: Propia

#### ***4.1.4 Tabla general de resultados***

En la **Tabla 4**, se han registrado los resultados generales de las pruebas aplicadas a los no tejidos elaborados a partir de lana y cabello, tomando en consideración el número de probetas sugerido por cada norma aplicada. Los resultados presentados en la tabla mencionada muestran la capacidad adsorbente de las muestras que en su mayoría presentan excelentes resultados, tomando en consideración que las muestras de una capa laminar saturaron su estructura con aceite de petróleo totalmente durante las pruebas cortas, bajo la interferencia del agua.

Mientras que las muestras de triple capa de no tejido alcanzaron la saturación tras 24 horas de exposición al hidrocarburo. A pesar de la presencia del agua las últimas obtuvieron una mejor recuperación del aceite. Por otro lado, la resistencia de las muestras fue puesta a prueba para determinar la capacidad de estas para ser manipuladas, obteniendo buenos resultados en ambas direcciones del sustrato (longitudinal y transversal), es destacada la resistencia registrada de las muestras en el sentido longitudinal, alcanzando un máximo de 160 Newtons de resistencia a la rotura, es decir este sustrato puede llegar a soportar 160 N de fuerza de tracción hasta llegar a la rotura, se conoce que un 1 Newton equivale a la cantidad de fuerza necesaria para acelerar un objeto de 1 kilogramo a una velocidad de 1 metro por segundo cuadrado.

En base a esta constante es posible deducir que el sustrato puede llegar a soportar hasta 16 kg de tensión bajo la aceleración de la gravedad estándar de  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Basta con dividir los 160 N obtenidos en este análisis para la constante de aceleración de gravedad estándar, para obtener el resultado planteado. Es decir, 16,3 kg de tensión. Se presume que esta destacada resistencia generada por el sustrato se da gracias al método de formación del no tejido, a través de cardado y planchado por vía húmeda, gracias a lo cual se generó una fuerte cohesión de las fibras.

**Tabla 4***Recopilación general de resultados*

Probeta No.	Dirección longitudinal de cardado (DCL)		Dirección transversal del colchón (DTC)		Rendimiento adsorbente			
	Fuerza máxima (N)	Extensión (%)	Fuerza máxima (N)	Extensión (%)	SS (g petróleo/g adsorbente)		SS (g petróleo/g adsorbente)	
					1 Capa	3 Capas	1 Capa	3 Capas
<b>1</b>	160,45	83,74	90,33	94,36	14,14	11,22	4,92	2,21
<b>2</b>	132,67	69,95	83,36	111,78	17,17	20,80	5,88	1,97
<b>3</b>	125,67	63,22	80,1	88,02	12,13	13,86	6,40	1,89
<b>4</b>	155,53	68,95	99,62	71,97	10,89	16,67	5,23	2,28
<b>5</b>	139,33	65,59	90,12	86,26	20,60	12,50	5,79	1,86
<b>6</b>	-	-	-	-	14,43	14,57	5,00	2,60

Fuente: Propia

## 4.2 Discusión de resultados

A continuación, se aborda el análisis estadístico aplicado a los resultados registrados previamente, a través del empleo del software Past 4 el cual analiza aspectos como la varianza de los datos, la normalidad y el nivel de confiabilidad, además, de otros aspectos relacionados a la parte estadística de los datos resultantes.

## 4.3 Análisis de la varianza

El análisis estadístico de la varianza es ampliamente empleado para cuantificar el nivel de variación que existe entre la media de tres o más grupos de datos resultantes de un método de evaluación previamente aplicado; es por medio de este análisis estadístico que se acepta o

rechaza una hipótesis nula dependiendo de si los resultados de la prueba aplicada son significativos. A través del análisis de la varianza se puede establecer si existe una diferencia significativa entre grupos de datos y su posible razón o si está sujeta a un hecho al azar.

Para el análisis de la varianza de los datos obtenidos de las pruebas de resistencia a la rotura y elongación se ha empleado el software estadístico Past 4, que arrojó las siguientes apreciaciones.

Como se muestra en la **Figura 10**, existe una variación elevada respecto a los valores de la media de los porcentajes de elongación o extensión máxima de las probetas de dirección transversal de corte (DTC), de la misma manera sucede con los valores del porcentaje de extensión de las probetas de dirección de cardado longitudinal (DCL).

Estas diferencias significativas entre los grupos de resultados se presumen son producto de la cohesión generada en el no tejido elaborado a partir de lana y cabello humano. Arrojando excelente resultados en cuanto a la capacidad elástica del sustrato tanto en dirección transversal como longitudinal.

Por otro lado, los resultados evaluados respecto a la fuerza máxima que soportan las probetas hasta el punto de rotura demuestran que las probetas han adquirido valores elevados de resistencia a la tracción en dirección longitudinal.

**Figura 10**

*Análisis de la varianza de las pruebas de resistencia a la tracción y elongación*

 Univariate statistics

	FMax (N) - DTC	Ext (%) - DTC	FMax (N) - DCL	Ext (%) - DCL
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Min</b>	80,1	71,97	125,67	63,22
<b>Max</b>	99,62	111,78	160,45	83,74
<b>Sum</b>	443,53	452,39	713,65	351,45
<b>Mean</b>	88,706	90,478	142,73	70,29
<b>Std. error</b>	3,364485	6,462292	6,639449	3,569934
<b>Variance</b>	56,59878	208,8061	220,4114	63,72215
<b>Stand. dev</b>	7,523216	14,45013	14,84626	7,982615
<b>Median</b>	90,12	88,02	139,33	68,95
<b>25 prcnil</b>	81,73	79,115	129,17	64,405
<b>75 prcnil</b>	94,975	103,07	157,99	76,845
<b>Skewness</b>	0,5058658	0,4550303	0,2086447	1,616535
<b>Kurtosis</b>	-0,000119462	1,284115	-2,325974	2,994736
<b>Geom. mean</b>	88,4541	89,56511	142,1152	69,95027
<b>Coeff. var</b>	8,481068	15,97087	10,40164	11,35669

Fuente: Propia

A través de la **Figura 11**, se puede apreciar el análisis de la varianza practicado a los resultados obtenidos en las pruebas de adsorción de petróleo de las probetas empleadas dentro de la investigación experimental a escala de laboratorio, que ha sido llevada a cabo. Donde los valores representados como SS corresponden al rendimiento adsorbente de los sustratos (g de no tejido /g de petróleo adsorbido), mientras que los valores mostrados como 1L y 3L se refieren al número de capas de no tejido utilizadas durante las pruebas. Y finalmente dentro de cada ítem se presenta el tiempo que tomó cada prueba.

El análisis de la varianza demuestra un incremento significativo en el rendimiento adsorbente de las probetas de una única capa laminar tras aplicar el tiempo de exposición respectivo a cada celda de prueba. De la misma manera sucede con las probetas de triple capa laminar. No obstante, se generó una marcada variación respecto a los resultados comparados entre las probetas de una capa y las de triple capa laminar en las pruebas de adsorción. Se sospecha que el decrecimiento del rendimiento adsorbente de las probetas de las pruebas largas de triple capa laminar de no tejido se produjo en relación con la densidad de estas, es decir, entre más pesadas son las probetas menor rendimiento presentan.

### Figura 11

*Análisis de la varianza del rendimiento adsorbente de las probetas de no tejidos*

#### Univariate statistics

	SS-1L-15 min	SS-1L-24 h	SS-3L-15 min	SS-3L-24 h
<b>N</b>	6	6	6	6
<b>Min</b>	10,89	11,22	1,86	4,92
<b>Max</b>	20,6	20,8	2,6	6,4
<b>Sum</b>	89,36	89,62	12,81	33,22
<b>Mean</b>	14,89333	14,93667	2,135	5,536667
<b>Std. error</b>	1,439839	1,395561	0,116297	0,2373277
<b>Variance</b>	12,43883	11,68555	0,08115	0,3379467
<b>Stand. dev</b>	3,526872	3,418413	0,2848684	0,5813318
<b>Median</b>	14,285	14,215	2,09	5,51
<b>25 prcnil</b>	11,82	12,18	1,8825	4,98
<b>75 prcnil</b>	18,0275	17,7025	2,36	6,01
<b>Skewness</b>	0,7649121	1,048986	0,8308146	0,4310813
<b>Kurtosis</b>	0,09716211	1,020819	-0,1602149	-1,285628
<b>Geom. mean</b>	14,56153	14,6337	2,119777	5,511614
<b>Coeff. var</b>	23,68088	22,88605	13,34278	10,49967

Fuente: Propia

#### 4.4 Normalidad de los datos

A través del análisis estadístico de la normalidad de los resultados obtenidos es posible determinar si existe una distribución normal de los resultados obtenidos, en este sentido, los resultados que muestren un valor superior a 0,05 demuestran un 95% de confiabilidad respecto a los datos analizados, siendo lo opuesto cuando no superan dicho valor. Para analizar la normalidad de los resultados obtenidos tras las pruebas realizadas se ha empleado el software Past 4.

La **Figura 12**, muestra el análisis de normalidad aplicado a los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la tracción en dirección de cardado longitudinal y transversal, también se analizó la distribución normal de los resultados obtenidos respecto a la capacidad elástica o elongación de las probetas empleadas.

#### Figura 12

*Análisis de la normalidad de los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción y elongación de las probetas (DCL – DTC).*

##### Tests for normal distribution

	FMax (N) - DTC	FMax (N) - DCL	Ext (%) - DTC	Ext (%) - DCL
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9488	0,9299	0,9667	0,8467
<b>p(normal)</b>	0,7285	0,596	0,8534	0,1843
<b>Anderson-Darling A</b>	0,2444	0,2494	0,2307	0,4525
<b>p(normal)</b>	0,5739	0,5575	0,6248	0,1469
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,6762	0,6636	0,7375	0,1628
<b>Lilliefors L</b>	0,2145	0,2057	0,1941	0,317
<b>p(normal)</b>	0,6339	0,6971	0,7759	0,1009
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,6523	0,7194	0,8038	0,1079
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,3043	0,5374	0,1737	0,9931
<b>p(normal)</b>	0,8589	0,7644	0,9168	0,6086
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,8478	0,4715	0,9474	0,0903

Fuente: Propia

Cada análisis aplicado indica que los resultados cuentan con un 95% de confiabilidad, nótese que cada ítem presentado en la **Figura 12**, obtiene un p valor superior a 0,05.

Posteriormente, se han sometido los resultados obtenidos en las pruebas de adsorción cortas y largas para identificar la distribución normal de estos, comprobando la confiabilidad de los mismo a través del software estadístico Past 4. Como se puede apreciar en la **Figura 13**, los resultados de rendimiento adsorbente registrados de cada prueba se han analizado corroborando la fiabilidad de estos. Todos los valores p exceden el valor de 0,05 demostrando una distribución normal y una confiabilidad del 95%. Los métodos de análisis como Jaque-Bera JB, Shapiro-Wilk W y Anderson-Darling A aseveran la confiabilidad de los datos.

### Figura 13

*Análisis de distribución normal de los resultados del rendimiento adsorbente de las probetas de una y tres capas laminares.*

 Tests for normal distribution

	Ss-1L-15min	Ss-1L-24h	Ss-3L-15min	Ss-3L-24h
<b>N</b>	6	6	6	6
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9493	0,9354	0,9064	0,9218
<b>p(normal)</b>	0,7343	0,6226	0,4134	0,5185
<b>Anderson-Darling A</b>	0,2302	0,2603	0,3101	0,2814
<b>p(normal)</b>	0,6664	0,5579	0,4295	0,5085
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,7481	0,6381	0,473	0,5622
<b>Lilliefors L</b>	0,2189	0,2094	0,2188	0,2011
<b>p(normal)</b>	0,4897	0,5623	0,4908	0,6266
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,4931	0,5667	0,4994	0,6328
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,4817	0,6512	0,5761	0,5203
<b>p(normal)</b>	0,786	0,7221	0,7497	0,7709
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,6339	0,3843	0,4985	0,5804

Fuente: Propia

#### 4.5 Análisis de resultados

A término de los análisis previamente mostrados llevados a cabo con el software Past 4, se ha empleado este programa para analizar a través de gráficos estadísticos los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a fin de esclarecer e identificar los resultados más prominentes.

Como se puede apreciar en la **Figura 14**, los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la rotura muestran que las probetas sometidas a las fuerzas de tensión constante aplicadas por el dinamómetro presentan mayor resistencia a la rotura en sentido longitudinal al cardado.

Se observa que las probetas de sentido longitudinal llegan a soportar un máximo de 160 Newtons de fuerza constante, mientras que en el sentido transversal la estructura laminar desarrollada llega a soportar hasta 100 N. Gracias al proceso de cardado las fibras de lana fueron paralelizadas con una fuerte cohesión inter-fibra al mismo tiempo que se generó la mezcla óptima con el cabello. Por consiguiente, la resistencia física del sustrato es superior en sentido longitudinal.

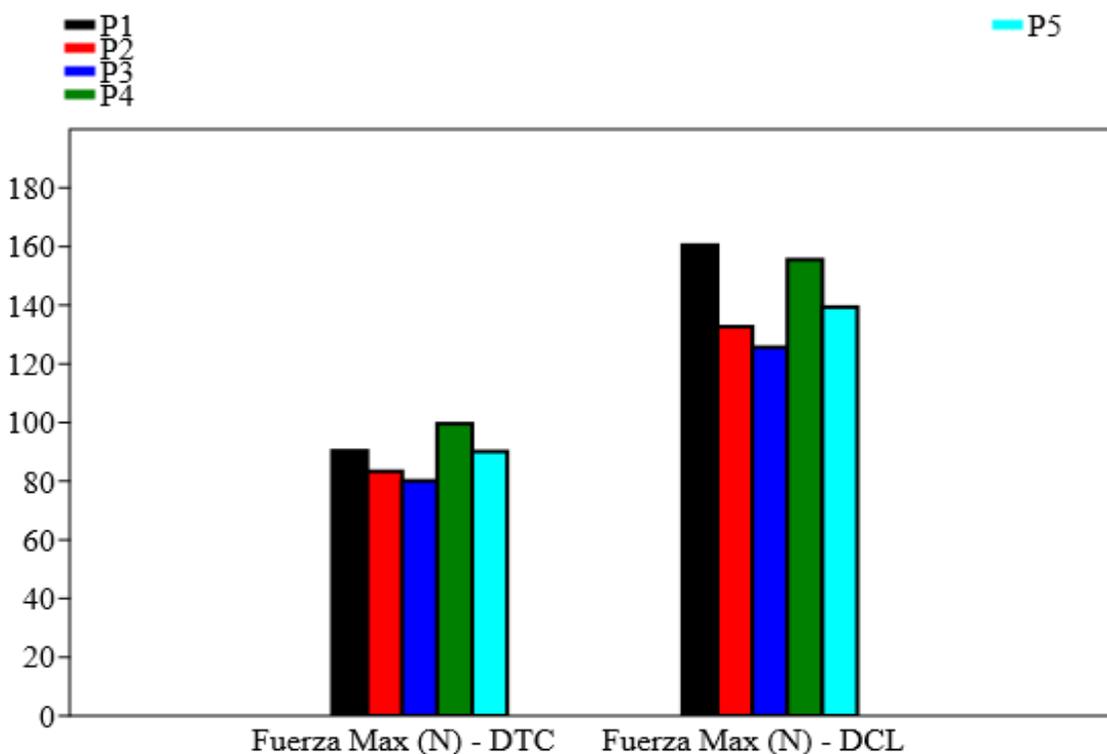
En suma, el no tejido desarrollado previamente tiene una buena cohesión inter-fibra a pesar de la ausencia de rizo en el cabello; sin embargo, gracias a las propiedades de enfieltramiento de la lana se ha logrado desarrollar el sustrato con una mezcla óptima de 75% lana y 25% cabello.

Aun así, el sustrato desarrollado ha demostrado tener buena resistencia a la tensión pudiendo ser manipulado sin mayor problema. Se presume que incluso puede ser reutilizado debido a la capacidad elástica registrada que llega hasta 110% en sentido longitudinal y hasta

80% en sentido transversal, dejando una pauta de las capacidades físicas del material que puede ser reutilizado aplicando procesos físicos como centrifugado es exprimido por rodillos mecánicos tipo calandras. Sin embargo, es un punto importante que debería ser considerado para una posible futura investigación.

**Figura 14**

*Gráfica comparativa de fuerzas en sentido trasversal versus longitudinal*



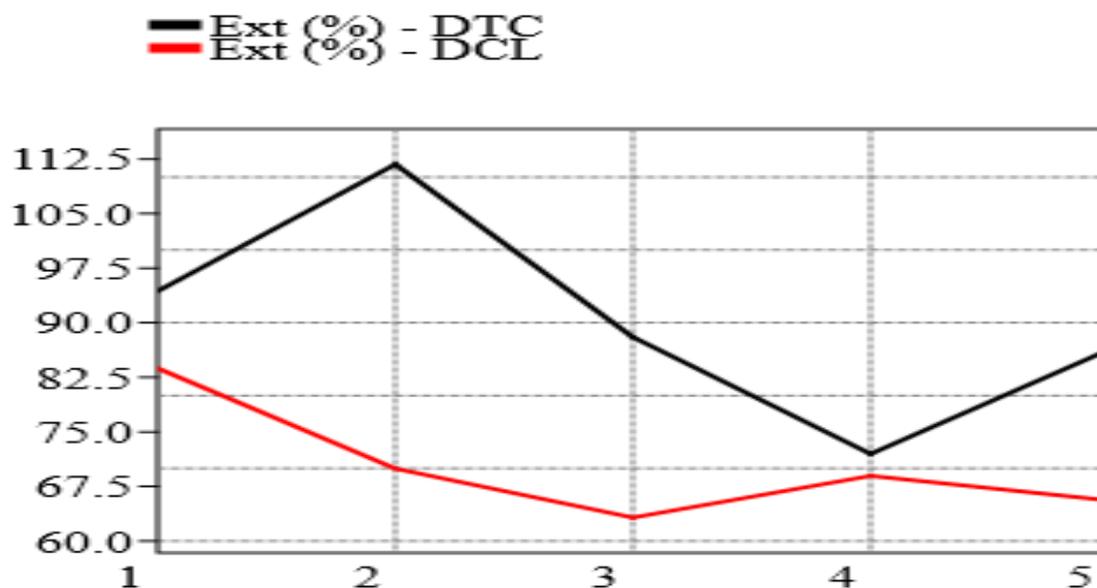
Fuente: Propia

En la **Figura 15**, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de elongación de las probetas analizadas, es decir, la gráfica presenta la capacidad elástica de cada muestra sometida a las pruebas de elongación, las probetas analizadas en sentido transversal mostraron mejor capacidad elástica en comparación a las muestras de sentido longitudinal. Es

evidente que la falta de paralelización de las fibras en el sentido transversal generó mayor elasticidad por la disminución de la cohesión entre las fibras.

**Figura 15**

*Porcentajes de elongación registrados y comparados, dirección trasversal frente a longitudinal.*



Fuente: Propia

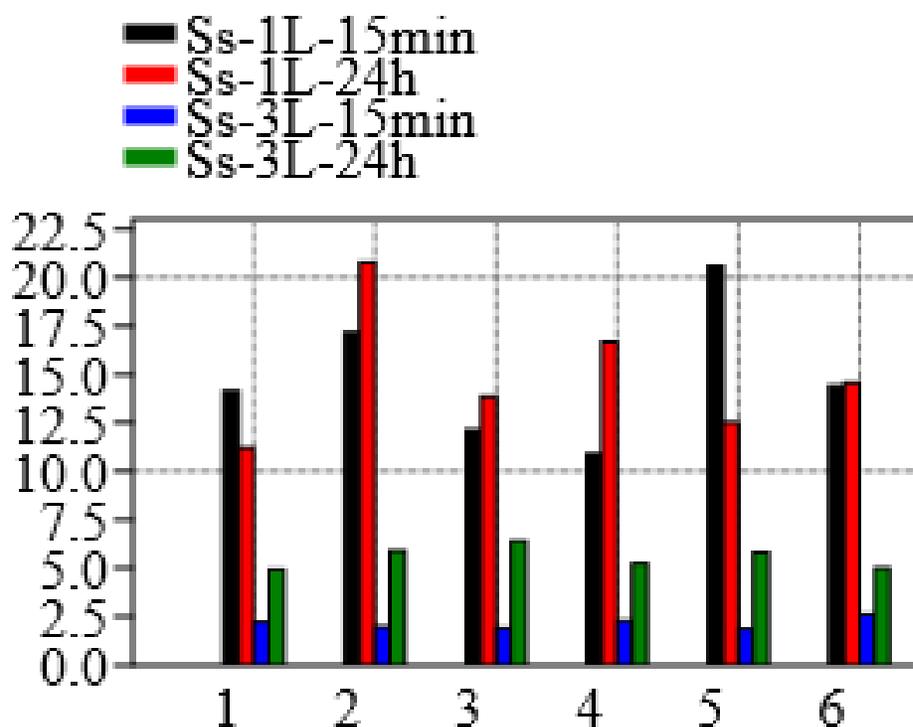
De igual manera, con ayuda de gráficas estadísticas se sometió los resultados obtenidos en las pruebas de rendimiento adsorbente a un análisis estadístico, se registraron los resultados presentados a continuación.

Como se puede apreciar en la **Figura 16**, se analizó el rendimiento de las probetas sometidas a las pruebas de adsorción de crudo de petróleo, es notable que las probetas de una capa laminar (1L) presentaron mayor rendimiento adsorbente en comparación a las probetas de triple cama laminar (3L), se presume que la diferencia de rendimiento se debe a la densidad del sustrato, es decir, entre mayor sea la densidad mayor compactación tiene la probeta, mejorando

incluso su resistencia, sin embargo, no cuenta con muchos espacios huecos. Lo opuesto ocurre con las probetas de menor densidad, por ser menos compactas presentan mayor cantidad de espacios huecos en los cuales se alberga mayor cantidad de aceite. En la **Figura 17**, se observa la comparativa entre las densidades de las probetas previo al proceso de prueba de adsorción de petróleo.

**Figura 16**

*Diagrama de barras comparativo entre el rendimiento adsorbente de las probetas de una y tres capas laminares de no tejido.*



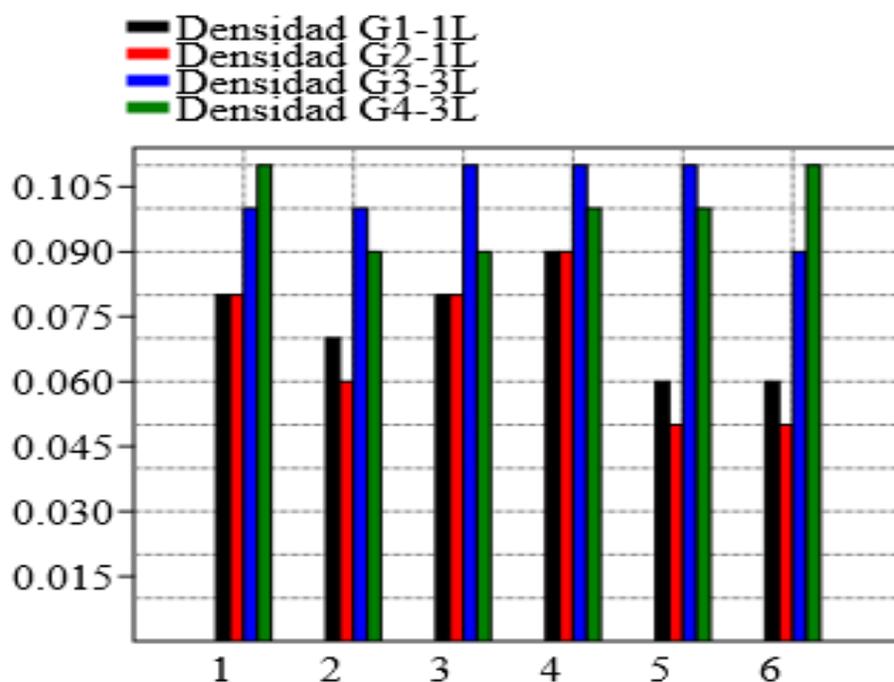
Nota: Las siglas (Ss) representan el rendimiento adsorbente en g de petróleo/g de adsorbente. Mientras que las siglas (L) muestran el número de capas de no tejido empleadas en la prueba de adsorción. Finalmente, junto a cada grupo de prueba se muestra el tiempo que se ha empleado.

Fuente: Propia

A continuación, se detalla el análisis estadístico aplicado a las densidades registradas respecto a cada probeta empleada para las pruebas de rendimiento adsorbente de petróleo. Las probetas se aglomeraron en 4 grupos de 6 probetas cada uno, donde los dos primeros grupos corresponde a probetas de una capa laminar de 13 x 13 cm de 0,5 cm de grosor. Mientras que las probetas de triple capa laminar organizadas en los dos últimos grupos presentaron las mismas dimensiones con un grosor de 2 cm. Los pesos de cada probeta se han registrado en las tablas anteriormente presentadas (ver **Tabla 3**) con la simbología (So) que representan a su vez el peso inicial de las muestras antes de cada prueba adsorbente.

**Figura 17**

*Comparativa entre densidades de las probetas empleadas*



Nota: Los valores registrados de las densidades de las probetas son representados en el eje y de la gráfica, donde los valores refieren a las siguientes unidades de medida:  $\text{g/cm}^3$ . Fuente: Propia

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- El desarrollo de las estructuras laminares se llevó a cabo empleando una mezcla óptima de 75/25% (lana y cabello), el no tejido fue elaborado a través del método de formación de la manta por vía húmeda o Wet Laid, se empleó el proceso de cardado para separar y paralelizar las fibras de lana y al mismo tiempo mezclarlas con el cabello, el velo resultante obtuvo suficiente resistencia con el porcentaje de mezcla ya mencionado previamente determinando de tal manera el porcentaje óptimo de mezcla.
- Una vez que se obtuvo el velo se procedió a formar el colchón que posteriormente fue sometido a un proceso de planchado para lograr compactar su grosor a una lámina con un espesor promedio de 0,5 cm resultando un no tejido enfieltrado y resistente. Finalmente, se comprobó que el no tejido generó mayor resistencia a la tracción en sentido longitudinal al cardado soportando que se le aplique fuerza hasta la rotura en un máximo de 160 Newtons, mientras que en el sentido transversal del colchón la resistencia máxima que soportó el no tejido fue de 100 Newtons. Gracias a la fuerte

cohesión generada entre las fibras y el cabello, el sustrato adquirió elevada resistencia a la rotura y buena manipulación.

- En cuanto a las propiedades adsorbentes del sustrato se obtuvieron buenos resultados, las muestras de no tejido de una capa laminar empleadas en las pruebas cortas y largas de adsorción, muestran un rendimiento adsorbente máximo de 20 (g/g), es decir, 20 gramos de petróleo por gramo de adsorbente, de tal manera, es posible afirmar que la muestra es capaz de adsorber hasta 20 veces su peso en aceite de petróleo, tomando en cuenta la interferencia competitiva del agua, se puede aseverar que la recuperación del hidrocarburo fue parcial. Por otro lado, las muestras de triple capa laminar de no tejido presentan un rendimiento adsorbente de 6,40 g/g. Las probetas de triple capa laminar saturaron parcialmente de agua conservando la capacidad de retener más petróleo en su estructura. Por ello el peso final de estas últimas sufrió un incremento promedio de 54%, por ende, el rendimiento se vio afectado con una evidente disminución, pero con una adsorción mejorada, la recuperación del hidrocarburo fue total, en las celdas de prueba, se observó la recuperación de la cristalinidad del agua empleada para la prueba (Ver **Anexo 6**), solo quedando manchadas las paredes de las celdas de prueba. Las paredes de las celdas de prueba permanecen manchadas debido al material del que están hechas, en este caso se empleó un recipiente elaborado con tereftalato de polietileno (PET), debido a que se trata de un derivado del petróleo generó cierta retención del hidrocarburo en su estructura.
- La diferencia entre el rendimiento adsorbente de las muestras de una y triple capa laminar de no tejido se produjo a partir de la densidad de las muestras empleadas, las

probetas cuya densidad se encontraba en un rango de 0,05 a 0,08 g/cm<sup>3</sup> presentaron menor compactación de fibras y cabello, gracias a ello se generaron espacios huecos que fueron ocupados por el hidrocarburo durante la fase de adsorción. Lo opuesto ocurrió con las probetas cuya densidad se encontró en un rango de 0,09 a 0,11 g/cm<sup>3</sup>. Su rendimiento adsorbente se vio afectado por el incremento de la densidad, sin embargo, los resultados demuestran que estas muestras presentaron una recuperación de petróleo mejorada.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda emplear en proceso de recuperación mecánica adsorbentes biodegradables y económicos como el desarrollado en el presente trabajo, para recuperar completamente el hidrocarburo, evitando la expansión de las aguas petroleadas en el ambiente.
- Es aconsejable emplear otros métodos de consolidación de no tejidos en investigaciones futuras, donde se puedan emplear varios porcentajes de mezcla de los materiales para comprobar la incidencia que tiene sobre la capacidad adsorbente del sustrato. Gracias a los diversos métodos de elaboración de los no tejidos es posible probar con otras alternativas, como un proceso químico en el cual se emplean adhesivos para consolidar el sustrato.
- Se recomienda emplear todos los equipos de protección personal para la manipulación de sustancias como el petróleo, así mismo, desecharlos adecuadamente, en el caso de estos hidrocarburos es aconsejable quemarlos in situ.

## GLOSARIO

- **Adsorción:** Es un proceso por el cual los átomos, iones o moléculas se adhieren a la superficie de un material, pero no se incorporan a su estructura interna. La adsorción es diferente de la absorción, ya que, en esta última, las sustancias son absorbidas y se incorporan completamente al interior del material.
- **Cuerpos de agua:** Se refiere a masas de agua naturales o artificiales que se encuentran en la superficie de la Tierra. Esto incluye océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, lagunas, entre otros. Los cuerpos de agua desempeñan un papel crucial en el ciclo hidrológico y son hábitats importantes para diversas formas de vida.
- **Descripción geológica:** Es un informe o análisis detallado sobre las características y la historia geológica de un área o región específica. Esto incluye la descripción de los diferentes tipos de rocas, minerales, estructuras geológicas y procesos que han afectado el paisaje a lo largo del tiempo.
- **Estratigrafía:** Es una rama de la geología que se ocupa del estudio y la interpretación de las capas rocosas (estratos) en la corteza terrestre. La estratigrafía permite comprender la secuencia, la edad y la evolución de los diferentes estratos, lo que ayuda a reconstruir la historia geológica de una región.
- **Litología:** Es el estudio de las rocas y su composición mineralógica, textura y estructura. La litología se enfoca en describir e interpretar las características físicas y químicas de las rocas con el fin de clasificarlas y entender su formación y origen.
- **Sísmica del suelo:** Es el estudio de cómo las ondas sísmicas se propagan a través del suelo y cómo interactúan con diferentes capas y estructuras geológicas subterráneas.

Este conocimiento es crucial para comprender el comportamiento del suelo durante eventos sísmicos, como terremotos.

- **Sorbente:** Es el material que tiene la capacidad de adsorber sustancias en su superficie. Es comúnmente utilizado en procesos de purificación, filtración o eliminación de contaminantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayón González, J. J. (2013). Escuela de Ingeniería de Petróleos. *DPA: Documents de Projectes d'Arquitectura*, 29, 50-55.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099/14217#.XxsLh6xCMX0.mendeley>
- AOP. (2020). *El petróleo, fichas didácticas*.  
[https://www.enerclub.es/extfrontenerclub/img/File/nonIndexed/petroleo/secciones/pdf/caps\\_todos/AOP%20FICHAS%20DIDACTICAS.pdf](https://www.enerclub.es/extfrontenerclub/img/File/nonIndexed/petroleo/secciones/pdf/caps_todos/AOP%20FICHAS%20DIDACTICAS.pdf)
- Arroyo, I. (2016). *Acondicionadores y sus principios cosméticos para el tratamiento del cabello dañado*.  
[https://eprints.ucm.es/id/eprint/49021/1/INES%20ARROYO%20MARTINEZ%20\(1\).pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/49021/1/INES%20ARROYO%20MARTINEZ%20(1).pdf)
- ASTM International. (2012). *ASTM F726-12: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents*.
- Biedma, L. (2016). *No Tejidos*. <https://www.megaplastic.com/search?q=no+tejidos>
- Bonilla, N. (2018). *Elaboración de un no tejido a partir de la fibra de piña mediante la técnica de punzonado para obtener un producto similar al cuero en cuanto a su textura y apariencia*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7873>
- Borovich, A. (2018). *Manual de los No Tejidos*. <https://www.megaplastic.com/>
- Broje, V., & Keller, A. A. (2006). Improved mechanical oil spill recovery using an optimized geometry for the skimmer surface. *Environmental Science and Technology*, 40(24), 7914-7918. <https://doi.org/10.1021/es061842m>

- Cavazos-Arroyo, J., Pérez-Armendáriz, B., & Mauricio-Gutiérrez, A. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. En *Publicado como ARTÍCULO en ASyD* (Vol. 11).
- Chicaiza, V. (2018). *Género textil a partir de pelaje canino*.
- Coelho, F. (2020). Metodología de la investigación. *Significados.com, September*.
- Columba, E. (2017). *Estudio de prefactibilidad del diseño de pozos en dos secciones 16" y 12 1/4" en el campo Tiputini de la Cuenca Oriente*.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17333/1/CD-7831.pdf>
- De La Cruz, C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *Ingenium, 01(01)*. <https://doi.org/10.18259/ing.2016007>
- Durval, I. J. B., Mendonça, A. H. R., Rocha, I. V., Luna, J. M., Rufino, R. D., Converti, A., & Sarubbo, L. A. (2020). Production, characterization, evaluation and toxicity assessment of a *Bacillus cereus* UCP 1615 biosurfactant for marine oil spills bioremediation. *Marine Pollution Bulletin, 157*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111357>
- Enríquez, L. (2022). *Caracterización de un no tejido enfieltrado utilizando pelo de perro (French Poodle)*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13122>
- Etkin, D. S., & Nedwed, T. J. (2021). Effectiveness of mechanical recovery for large offshore oil spills. *Marine Pollution Bulletin, 163*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111848>
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., Luis, &, & Betancourt-Buitrago, A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas

científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158-163.

<http://dyna.medellin.unal.edu.co/>

Google Maps. (2023). *Campus Universitario Planta textil Azaya*.

<https://maps.app.goo.gl/o7YsehK9cjoYdThHA>

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*.

[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

Hammer Shop. (2023). *Pirex*. Pirex hermético.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Mc Graw Hill, Vol. 1).

IDEI Dermatología. (2018). *El cabello y sus propiedades*. Instituto de Dermatología Integral.

<https://alopecia.ideidermatologia.com/>

INDA. (2022). *No tejidos*. <http://www.inda.org/about-nonwovens/>

Monje, C. (2021). *Metodología de la Investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica*.

Universidad Sur colombiana, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas.

<https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

Morán, H. S., Fausto, O. I., & Aguirre, R. (2014). *Análisis del proceso de perforación direccional de pozos petroleros en el campo Auca de la Amazonía Ecuatoriana para la*

*reducción de tiempos no productivos* [Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Petróleos P].

[https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5244/1/56985\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5244/1/56985_1.pdf)

NTE INEN-ISO 9092, 2014-01. (2011). *Textiles No Tejidos*.

[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_9092extracto.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_9092extracto.pdf)

Organización Internacional de Normalización. (1989). *ISO 9073-3:1989: Textiles - Métodos de ensayo para telas no tejidas - Parte 3: Determinación de las propiedades de absorción de líquidos*.

Ortega, J. (2020). *¿Cómo saturamos los datos? una propuesta analítica «desde» y «para» la investigación cualitativa*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33963459007>

Pagnucco, R., & Phillips, M. L. (2018). Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms. *Journal of Environmental Management*, 225, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.094>

PCE Instruments. (2018). *El Dinamómetro*. [www.pce-instruments.com/chile](http://www.pce-instruments.com/chile)

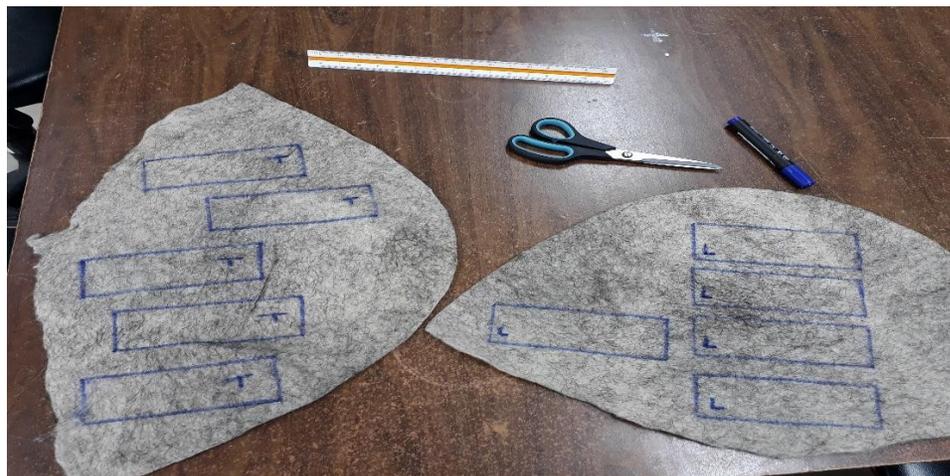
Prince, R. C. (2023). A half century of oil spill dispersant development, deployment and lingering controversy. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2022.105510>

Radetic, M., Radojevic, D., & Miladinovic, R. (2008). Recycled wool-based nonwoven material as an oil sorbent. *Taylor and Francis* .

Rajakovic, V., Aleksic, G., Radetic, M., & Rajakovic, L. (2007). Efficiency of oil removal from real wastewater with different sorbent materials. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2), 494-499. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.060>

República del Ecuador. (2008). *Constitución de la república del Ecuador 2008, Decreto Legislativo 0, Registro Oficial*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

- Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S. G., & Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.9>
- Sonnenberg, S., C, R., & Sonnenberg, S. (2015). *Elementos de Geología del Petróleo* (3.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2010-0-67090-8>
- Soriano, I., & Ayala, E. (2020). *La producción de Derivados del Petróleo en el Ecuador. Período 2014-2018*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50491/1/TF-CABEZAS%20SORIANO-VELEZ%20AYALA.pdf>
- Velásquez Arias, J. A., & Prada Millan, Y. (2016). Contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos en Colombia Fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Especialización en Biotecnología Agraria*, 51. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12098>
- Wauquier, J.-P. (2004). El Refino del Petroleo: petroleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación. En *Fundación Repsol YPF*. Díaz de Santos.
- Zhang, C., Han, L., & Shi, X. (2015). Modified Assessment Methodology for Mechanical Recovery Capacity for Oil Spill Response at Sea. *Aquatic Procedia*, 3, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.224>

**ANEXOS**

**Anexo 1.** Preparación de probetas para pruebas de resistencia a la tracción y elongación



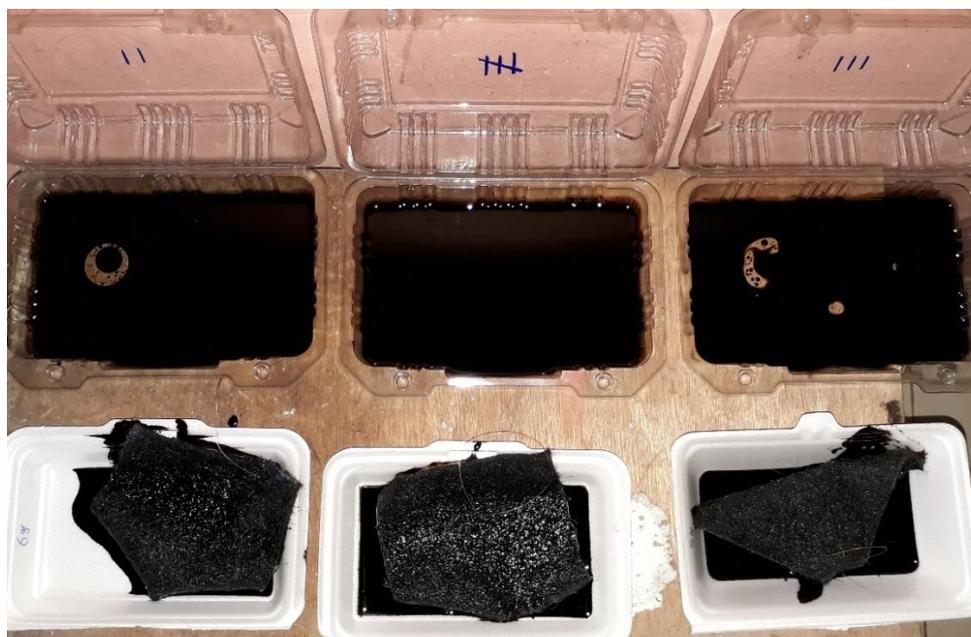
**Anexo 2.** Pruebas de resistencia a la tracción y elongación



**Anexo 3.** Aplicación de capa de hidrocarburo sobre la superficie del agua empleada en las celdas de prueba



**Anexo 4.** Celdas de prueba previo a las pruebas de adsorción



**Anexo 5.** Pruebas de adsorción cortas con probetas de una capa laminar



**Anexo 6.** Pruebas cortas de adsorción con muestras de triple capa laminar de no tejido



**Anexo 7.** Malla de drenado de los adsorbentes



**Anexo 8.** Pruebas largas de adsorción con muestras de triple capa laminar de no tejido



**Anexo 9.** Drenado de muestras tras las pruebas de adsorción



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE**  
**TEXTILES**



Ibarra, 18 de octubre del 2023

**CERTIFICADO DE LABORATORIO**

Yo, **MSc. Fausto Gualoto**, en calidad de responsable de calidad del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Textiles:

**CERTIFICO**

Que la señor **Estévez Robles Cristian Andrés**, portador de la cedula de ciudadanía N° 1004008548, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Trabajo de Titulación, con el tema: "Estructura laminar (No Tejido) a base de materiales lana y cabello humano para limpieza de petróleo derramado en agua dulce a escala de laboratorio", los equipos utilizados en el laboratorio son:

- **AMÓMETRO TITAN 5 MODELO 1410**- Determinación de la resistencia a la tracción y elongación de no tejidos ISO 9073-3:1989.
- **BALANZA ELECTRÓNICA**

Además, se le ayudó con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad la metodología establecida en cada una de las normas.

Atentamente:



**MSc. FAUSTO GUALOTO M.**  
**RESPONSABLE DE CALIDAD LABORATORIO DE PROCESOS**  
**TEXTILES – CTEX**