



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

**“ELABORACIÓN DE UN FILTRO A BASE DE PLUMAS DE POLLO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES A ESCALA DE LABORATORIO QUE PERMITA LA REMOCIÓN DE COLORANTE RESULTANTE DE LOS PROCESOS DE TINTORERÍA DE FIBRAS SINTÉTICAS”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA TEXTIL**

**AUTORA: DAYSI VERÓNICA VILATUÑA POMASQUI**  
**DIRECTOR: MSC. DARWIN JOSÉ ESPARZA ENCALADA**

**IBARRA -ECUADOR**

**2023**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

**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 la cual, pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL AUTOR</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>		172642691-7	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		Vilatuña Pomasqui Daysi Verónica	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Arturo Yánez y calle 24 (Ciudad Serrana)	
<b>E-MAIL:</b>		<a href="mailto:dvvilatunaputn.edu.ec">dvvilatunaputn.edu.ec</a>	
<b>TELÉFONO FIJO</b>	(02) 475-4088	<b>TELÉFONO</b>	0959571134
		<b>MOVIL:</b>	

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“Elaboración de un filtro a base de plumas de pollo para el tratamiento de aguas residuales textiles a escala de laboratorio que permita la remoción de colorante resultante de los procesos de tintorería de fibras sintéticas”
<b>AUTOR:</b>	Vilatuña Pomasqui Daysi Verónica
<b>FECHA:</b>	12/12/2022
<b>PROGRAMA:</b>	Pregrado
<b>TITULO POR OPTAR:</b>	Ingeniera Textil
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	MSc. Darwin José Esparza Encalada



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

**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 esta, y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, a los 9 días del mes de enero de 2023.

**EL AUTOR:**

Daysi Verónica Vilatuña Pomasqui

C.I 172642691-7



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de director de Trabajo de grado presentado por la egresada Daysi Verónica Vilatuña Pomasqui, para optar el título de INGENIERA TEXTIL, cuyo tema es **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO A BASE DE PLUMAS DE POLLO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES A ESCALA DE LABORATORIO QUE PERMITA LA REMOCIÓN DE COLORANTES RESULTANTE DE LOS PROCESOS DE TINTORERÍA DE FIBRAS SINTÉTICAS”** considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los opositores que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a 9 días del mes de enero del 2023

  
.....  
MSc. Darwin José Esparza Encalada

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, quien, con mucho sacrificio, cariño y dedicación, ha sabido guiar mis pasos en cada etapa de mi vida.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres, ellos a quienes son el cimiento de mi desarrollo como persona y los que me han inculcado el valor de la vida y del esfuerzo constante para siempre cumplir con mis ideales, por su apoyo incondicional en cada decisión y proyecto que me he planteado durante mi trayectoria, les doy un agradecimiento muy especial.*

*A mis hermanas, quienes me han brindado no solo su apoyo académico sino emocional, por sus palabras de aliento para no decaer en los peores momentos de mi vida, no me queda más que expresar mi aprecio por toda su comprensión y amor.*

*A mis compañeras Abigail, Pamela y Gina con quienes permanecí la mayor parte de mi vida universitaria, por los buenos y malos momentos que vivimos dentro de las aulas de estudio, expreso mi gratitud y buenos deseos en su vida como futuras profesionales.*

*De manera especial un agradecimiento al MSc. Darwin Esparza por su apoyo, compromiso y paciencia en el desarrollo de esta tesis.*

*Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Carrera de Ingeniería Textil de la Universidad Técnica del Norte, por haberme dado la bienvenida al mundo estudiantil y por todas las oportunidades que se me han abierto dentro de sus aulas, como conocer a grandes docentes quienes me han inculcado los conocimientos necesarios para ser un buen profesional.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	i
CONSTANCIAS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del tema.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Importancia del estudio.....	2
1.4 Objetivos .....	2
1.4.1 Objetivo general .....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Características del sitio del proyecto .....	3
1.5.1 Datos geográficos del sitio del proyecto.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2 ESTADO DEL ARTE.....	5

2.1	Estudios previos.....	5
2.1.1	Filtración del agua residual.....	6
2.1.2	Material filtrante.....	8
2.1.3	Plumas de pollo como material filtrante.....	13
2.2	Marco conceptual.....	17
2.2.1	Plumas de pollo.....	17
2.2.2	No tejidos.....	22
2.2.3	Agua residual textil.....	27
3	METODOLOGÍA.....	44
3.1	Métodos y técnicas.....	44
3.1.1	Métodos utilizados.....	45
3.2	Procedimiento general de la investigación.....	46
3.2.1	Obtención de las plumas.....	46
3.2.2	Obtención del no tejido.....	50
3.2.3	Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado.....	51
3.2.4	Evaluación del filtro.....	52
3.3	Selección y codificación de muestras.....	54
3.4	Normativa utilizada.....	56
3.4.1	ISO 3801:1977: Textiles-Tejidos -Determinación de masa por unidad de longitud y masa por unidad de área.....	56
3.4.2	NTE INEN 2 169:68 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.....	57
3.4.3	Métodos estándar Ed.23.2017 2540: Análisis físico- químico en aguas, análisis de DQO.....	57
3.4.4	NTE INEN ISO 10523: Calidad del agua. Determinación de pH.....	58
3.4.5	Determinación de total de sólidos disueltos SM 2510 B.....	58

3.4.6	Acuerdo Ministerial 097-A, Límite de descarga al sistema de alcantarillado	59
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
4.1	Resultados	60
4.1.1	Tratamiento de las plumas	60
4.1.2	Obtención del no tejido	61
4.1.3	Determinación de gramaje	63
4.1.4	Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado	67
4.1.5	Evaluación de resultados	73
4.2	Discusión de resultados	74
4.2.1	Evaluación de parámetros de calidad del agua respecto al espesor del filtro	74
4.2.2	Análisis comparativo de parámetros de calidad del agua respecto a la normativa legal de descarga al alcantarillado	80
4.2.3	Eficiencia del filtro	84
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1	Conclusiones	93
5.2	Recomendaciones	96
5.3	Anexos	97
5.4	Bibliografía	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos geográficos .....	4
<b>Tabla 2.</b> Metales presentes en los colorantes.....	32
<b>Tabla 3.</b> Descrude de plumas.....	48
<b>Tabla 4.</b> Gramaje y espesor FE1 .....	64
<b>Tabla 5.</b> Gramaje y espesor FE2.....	65
<b>Tabla 6.</b> Gramaje y espesor FE 3.....	65
<b>Tabla 7.</b> Caracterización RC1 .....	71
<b>Tabla 8.</b> Resumen de tablas .....	72
<b>Tabla 9.</b> Relación porcentual .....	73
<b>Tabla 10.</b> Media y coeficiente de variación, de parámetros de caracterización de agua residual.....	78
<b>Tabla 11.</b> Valores Límite Máximo permitido .....	80
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de eficiencia, pH .....	85
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje de eficiencia, DQO .....	86
<b>Tabla 14.</b> Porcentaje de eficiencia, DQO respecto al 10 % .....	86
<b>Tabla 15.</b> Porcentaje de reducción de DQO respecto al espesor .....	87
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de eficiencia, TDS .....	90
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de eficiencia TDS, respecto al 10 % .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Planta Académica Textil .....	3
<b>Figura 2.</b> Métodos de filtración. ....	6
<b>Figura 3.</b> Estructura del grafito y carbón activado .....	10
<b>Figura 4.</b> Superficie adsorbente, plumas de pollo .....	14
<b>Figura 5.</b> Sección transversal de la pluma de pollo. ....	16
<b>Figura 6.</b> Partes de la pluma .....	18
<b>Figura 7.</b> Tipos de plumas .....	20
<b>Figura 8.</b> Clasificación de los no tejidos. ....	23
<b>Figura 9.</b> Consolidación del no tejido.....	24
<b>Figura 10.</b> Proceso de hidrogenado.....	26
<b>Figura 11.</b> Valores de temperatura .....	30
<b>Figura 12.</b> Principales contaminantes presentes en el agua residual textil.....	31
<b>Figura 13.</b> Filtro superficial.....	37
<b>Figura 14.</b> Filtración profunda.....	38
<b>Figura 15.</b> Filtración por torta .....	39
<b>Figura 16.</b> Tipos de materiales filtrantes .....	42
<b>Figura 17.</b> Flujoograma general de experimentación .....	46
<b>Figura 18.</b> Tratamiento de las plumas .....	47
<b>Figura 19.</b> Curva de descrude.....	49
<b>Figura 20.</b> Curva de enjuague.....	50
<b>Figura 21.</b> Obtención del no tejido .....	50
<b>Figura 22.</b> Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado .....	51
<b>Figura 23.</b> Recolección de datos.....	53
<b>Figura 24.</b> Evaluación del filtro.....	53
<b>Figura 25.</b> Codificación de muestras agua residual.....	55
<b>Figura 26.</b> Codificación de muestras .....	55
<b>Figura 27.</b> Vista microscópica de plumas tratadas y sin tratar .....	60
<b>Figura 28.</b> Estructura adsorbente presente en la pluma tratada .....	61
<b>Figura 29.</b> Formación del no tejido .....	62

<b>Figura 30.</b> No tejido seco.....	62
<b>Figura 31.</b> Determinación de gramaje y espesor. ....	63
<b>Figura 32.</b> Gramaje y espesor .....	66
<b>Figura 33.</b> Recolección de agua residual, Enkador .....	67
<b>Figura 34.</b> Posición del filtro .....	68
<b>Figura 35.</b> Filtración por gravedad. ....	69
<b>Figura 36.</b> Uso de equipo TDS, Enkador. ....	70
<b>Figura 37.</b> Relación entre espesor y pH.....	75
<b>Figura 38.</b> Relación entre DQO y espesor.....	76
<b>Figura 39.</b> Relación entre espesor y TDS .....	77
<b>Figura 40.</b> Análisis comparativo RC1 Y media.....	79
<b>Figura 41.</b> pH agua residual filtrada.....	81
<b>Figura 42.</b> Análisis comparativo de DQO .....	82
<b>Figura 43.</b> Análisis comparativo TDS .....	83
<b>Figura 44.</b> Análisis comparativo límites máximos permisibles y TDS en el agua residual filtrada y sin filtrar .....	84
<b>Figura 45.</b> Porcentaje de eficiencia del filtro.....	89
<b>Figura 46.</b> Porcentaje de eficiencia TDS, respecto al 10 % .....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Análisis de agua residual sin filtrar, RC1 .....	97
<b>Anexo 2.</b> Análisis de agua residual filtrada, RC2 .....	98
<b>Anexo 3.</b> Análisis de agua residual filtrada, RC3 .....	99
<b>Anexo 4.</b> Análisis de agua residual filtrada, RC4 .....	100

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación está basado en la realización de un filtro a base de plumas de pollo a partir de un no tejido, para la retención de partículas de colorante existentes en el agua residual proveniente de la tintura de fibras sintéticas.

Las plumas de pollo se consideran un desperdicio a nivel mundial, las técnicas empleadas para su eliminación no son ambientalmente sostenibles, por lo que se genera una gran cantidad de desechos. Estas fibras poseen características que las hacen propicias para su reutilización en diferentes aplicaciones, sobre todo en la industria textil, como para la creación de filtros de aire/gas, los cuales son capaces de retener partículas de polvo existentes en el aire, los filtros para aguas residuales, en donde, estudios previos demuestran que las plumas poseen altas capacidades de retención. Esto debido a su flexibilidad, longitud, y, físicamente su estructura superficial lo cual le otorga una capacidad adsorbente junto a su composición química a base de queratina la cual es una proteína cuyas características químicas ayuda a atraer y adsorben metales pesados.

Por lo tanto, mediante la presente investigación se construyeron filtros a partir de plumas de pollo para la retención de partículas de colorante provenientes del agua residual de tintorería de fibras sintéticas (poliéster), con el objetivo de aprovechar la estructura adsorbente presente en las fibras. Mediante el método experimental se construyen filtros de diferentes espesores, a través de pruebas de filtración del agua residual contaminada con colorante de fibras sintéticas, se realiza un análisis comparativo entre la caracterización de parámetros de calidad del agua pH, DQO y TDS, obtenidos antes y después del proceso de filtración.

Posterior a ello, se realiza un análisis comparativo entre los parámetros de calidad del agua residual, para establecer la efectividad del filtro, en donde se obtiene que el espesor del filtro influye directamente en la retención de partículas dando como resultado que el filtro de mayor espesor presenta una eficiencia de 4,81% en disminución de DQO y 5,36 % respecto a TDS, mientras que el pH no se ve afectado por procesos de filtración.

Palabras clave: Plumas de pollo, adsorción, filtro, agua residual, caracterización.



## ABSTRACT

The current research is based on the creation of a filter based on chicken feathers from fabric, for the retention of dye particles in the residual water from the dyeing of synthetic fibers. The techniques used to dispose of chicken feathers are not environmentally sustainable, and as a result, a significant amount of waste is produced. These fibers have qualities that make them suitable for reuse in a variety of applications, particularly in the textile industry. For example, they can be used to make wastewater filters and air/gas filters that can capture and retain heavy metals from wastewater. Previous studies have shown that these fibers have high retention capacities. This is because of its physical flexibility, length, and surface structure, which together with its keratin-based chemical composition—a protein that enables the retention of suspended solids—give it an adsorbent capacity. Therefore, through the present investigation, filters were constructed from chicken feathers for the retention of dye particles from the residual water from the dyeing of synthetic fibers (polyester), to take advantage of the adsorbent structure present in the fibers. Through the experimental method, filters of different thicknesses are built, and through filtration tests of residual water contaminated with synthetic fiber dye, a comparative analysis is carried out between the characterization of water quality parameters pH, COD, and TDS, obtained before and after the process of filtering. Subsequently, a comparative analysis is carried out between the quality parameters of the residual water, to establish the efficiency of the filter, where it is obtained that the thickness of the filter directly influences the retention of particles, resulting in the thickest filter. It presents an efficiency of 4.81% in reducing COD and 5% concerning TDS, while the pH is unaffected by filtration processes.

Keywords: Chicken feathers, adsorption, filter, wastewater, characterization.

*Reviewed by Víctor Raúl Rodríguez Viteri*



## **CAPÍTULO I**

### **1 INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Descripción del tema**

Mediante la presente investigación, se pretende realizar el estudio acerca de la formación de un filtro a través del uso de las fibras provenientes de las plumas de las aves (pollos), empleando métodos de no tejidos, creando así, las condiciones óptimas para su utilización en la remoción de partículas de colorante existentes en el agua residual de tintura de fibras sintéticas.

El filtro se realizará en la Planta Académica Textil, en tanto que las pruebas de la eficacia del filtro se efectuarán mediante el análisis del agua residual, haciendo una comparación entre los datos obtenidos inicialmente y el agua residual filtrada. La eficacia del proceso de filtrado se determinará mediante la caracterización de las aguas residuales de proceso de tintura y las aguas residuales filtradas.

#### **1.2 Antecedentes**

Se ha considerado el aprovechamiento de las plumas de pollo para la elaboración de un filtro capaz de retener partículas de colorante, debido a que las fibras de plumas de pollo poseen características adsorbentes, lo cual las hace propicias para la retención de partículas en suspensión mediante la aplicación de fuerzas de Vander Walls (Martinez, n.d.).

Las plumas de pollo son consideradas un desperdicio a nivel mundial, las técnicas empleadas para su eliminación no son ambientalmente sostenibles, generando así una gran cantidad de desechos. Estas poseen características que las hacen propicias para su reutilización, sobre todo en la industria textil, para la elaboración de geotextiles, hilos, rellenos de ropa, textiles técnicos y no

tejidos, sus características principales son baja densidad, flexibilidad, gran relación de esbeltez, finura y, físicamente poseen una estructura tipo panel que les otorga la capacidad de adsorción (Tesfaye et al., 2017). Con lo antes expuesto se puede considerar que el uso de fibras de plumas de pollos es propicio para la elaboración de un filtro.

### **1.3 Importancia del estudio**

Los filtros convencionales son realizados, generalmente, de materiales como poliéster o polipropileno debido a su gran capacidad de retención de partículas en suspensión, el problema con ellos radica en que, al tratarse de material sintético se vuelve más difícil reciclarlos o biodegradarlos, por esta razón, se propicia el uso de fibras de origen natural como algodón, seda, lino y lana.

Las plumas de las aves son fibras de origen animal, proteínicas con similares características a la lana, poseen buenas propiedades físicas como su baja densidad, microestructuras que hacen factible el proceso de adsorción de partículas y sobre todo su capacidad para asociarse o mezclarse con otras fibras (López, 2018). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es elaborar un filtro capaz de retener partículas de colorante mediante la capacidad adsorbente que presentan las plumas de aves, eliminando así cierta cantidad de colorante del agua residual textil para que esta llegue más limpia a la zona de descarga.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

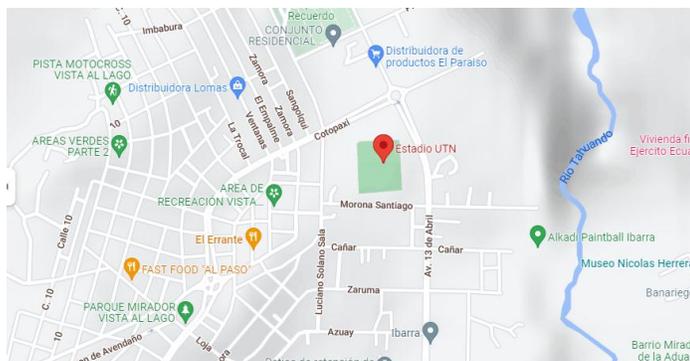
Elaborar un filtro a base de plumas de pollo para el tratamiento de aguas residuales textiles a escala de laboratorio que permita la remoción de colorante resultante de los procesos de tintorería de fibras sintéticas.

### 1.4.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar filtros a base de plumas de pollo para la filtración de aguas residuales de la tintura de fibras sintéticas.
- Caracterizar el agua residual de colorante mediante análisis de laboratorio aplicando el método de Standard Methods Ed.23.2017 para la evaluación de la calidad del agua.
- Evaluar los filtros empleando la muestra de agua residual textil contaminada con colorante y su eficacia en la remoción del color.

### 1.5 **Características del sitio del proyecto**

La presente investigación se realizará en provincia de Imbabura, en la ciudad de Ibarra, en la Planta Académica Textil perteneciente a la Plata Académica de la Carrera de Ingeniería Textil de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, debido a que se requerirá la prestación de algunos materiales existentes en el laboratorio de la misma, y externamente de laboratorios de microbiología existente en la ciudad con la finalidad de analizar las características del agua residual contaminada. Se ha escogido esta ciudad debido a que la recolección de las plumas se hará en microempresas dedicadas al sacrificio de estas aves, existentes en esta zona.



**Figura 1.** Ubicación de la Planta Académica Textil

**Fuente:**(Google Maps, 2022)

### 1.5.1 Datos geográficos del sitio del proyecto

En la siguiente tabla se muestra el sitio en el cual se realizará el tratamiento de las fibras y elaboración de un filtro a partir de las mismas, los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Textil.

**Tabla 1.**

*Datos geográficos*

<b>Datos Geográficos Planta Académica Textil</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>
<b>País</b>	Ecuador
<b>Provincia</b>	Imbabura
<b>Ciudad</b>	Ibarra
<b>Parroquia</b>	Alpachaca
<b>Sector</b>	Huertos Familiares
<b>Dirección</b>	Av. 13 de abril y Morona Santiago

**Fuente:** El autor.

## CAPÍTULO II

### 2 ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Estudios previos

Varios estudios señalan que las plumas de pollo son propicias para la retención de partículas en suspensión y tratamientos de aguas residuales, debido a su capacidad de adsorción y bajo costo, tal como señala Tan (2018) quien afirma que existen muchos adsorbentes que se pueden utilizar para la eliminación de contaminantes en el agua, pero pocos son tan rentables como las plumas de pollo.

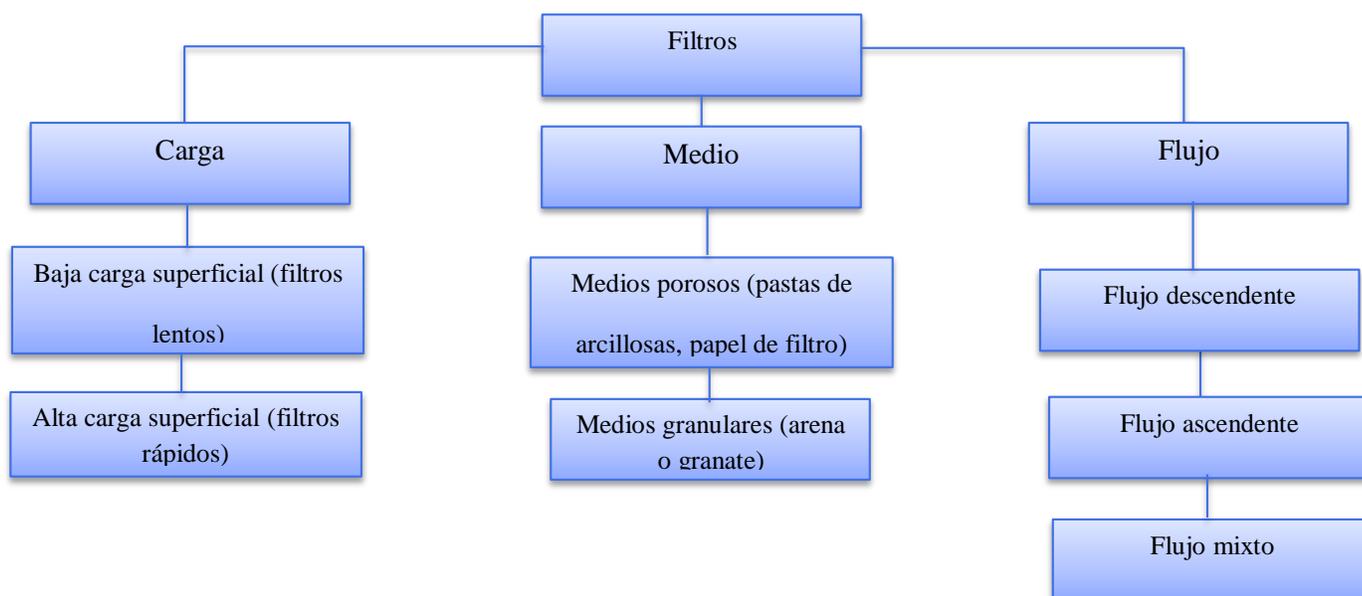
Las plumas de las aves de corral están compuestas por alrededor de un 90% de proteínas destacándose la queratina, dichas estructuras (plumas), por sí solas no pueden ser utilizadas como adsorbente para lo cual es necesario realizar procesos para que se quede a la vista únicamente la superficie adsorbente dándole así la capacidad de retener partículas y también metales pesados.

Hilmi (2016) establece que los procesos empleados para el tratamiento de las plumas es, el lavado utilizando únicamente agua fría y detergente, posterior se secan las plumas a temperatura ambiente, una vez seca se la somete a un proceso de lavado en donde por cada 10 g de plumas se utiliza un litro de agua, 4 g de hidróxido de sodio y 2 g/l de detergente, esto con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de restos de piel y sangre que se encuentran en las plumas y a su vez la eliminación de grasa que recubren las plumas para así dejar al descubierto la estructura tipo panal que otorga la capacidad de adsorción a las plumas. Una vez secas se pueden utilizar para cualquier tipo de proceso, por ejemplo, únicamente colocarlas en el agua para que de esta forma de retengan partículas o para la creación de algún tipo de no tejido, Tam (2018) menciona que una de las ventajas de utilizar este desecho es debido a que, para el tratamiento de aguas se utilizan

diferentes tipos de adsorbentes pero muchas veces resultan costosos, por lo que las plumas de aves de corral serían una alternativa a menor costo.

### 2.1.1 Filtración del agua residual

La filtración es un proceso utilizado para el tratamiento de agua residual cuya finalidad es conseguir una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en donde existen sólidos disueltos que son difíciles de remover, aunque también se puede lograr la eliminación de ciertos compuestos químicos como el fósforo que se encuentra precipitado por la vía química. Otero (2019) establece que el sistema de filtración puede ser utilizado únicamente con la finalidad de separar sólidos en suspensión de pequeño tamaño y material coloidal, este es el paso previo a un tratamiento de coagulación floculación. En la figura 2 se detallan los tipos de filtros empleados para los procesos de filtración de aguas.



**Figura 2.** Métodos de filtración.

**Fuente:**(Otero, 2019)

A través de la figura 2, se pretende dar a conocer los diferentes tipos de filtración, los cuales se pueden dar de diferentes formas, según el tipo de carga, el medio filtrante, el flujo y de acuerdo con el trabajo de presión o gravedad.

#### **2.1.1.1 Filtros de carga**

- **Filtros lentos**

El filtro lento se utiliza para la eliminación de la turbiedad del agua y es usado principalmente como un sistema para la desinfección de esta, juntamente con procesos físicos y biológicos con la finalidad de destruir microorganismos patógenos que se encuentran en el agua no apta para el consumo humano, o a su vez para el tratamiento de aguas residuales. Torres (2013) menciona que este tipo de filtros se caracteriza por ser un sistema bastante sencillo, eficiente y muy limpio para el tratamiento de aguas, posee un costo muy reducido, por lo que se dice que es un sistema idóneo para su implementación en diferentes zonas sobre todo zonas rurales y pequeñas comunidades.

- **Filtros rápidos**

El agua pasa a velocidades muy rápidas, de tal forma que se trata de eliminar partículas coloidales de difícil eliminación a través de medios físicos. Para que la filtración sea eficaz, es necesario que la materia ingrese profundamente a través del filtro, se ensucian de manera progresiva debido a la retención de sólidos por lo que se recomienda un lavado del filtro (Barantes, 2020). Generalmente, una de las aplicaciones de los filtros rápidos es para el tratamiento del agua potable.

#### **2.1.1.2 Filtro medio granulares**

Este es un medio de filtración que resulta bastante económico y eficiente para lograr separar sólidos suspendidos que son removidos mediante procesos de sedimentación, aunque muchas

veces eso depende también de las características del agua, puesto que es posible que se pueda realizar directamente la filtración a través de medios granulares sin haber pasado previamente por procesos de sedimentación. El filtro más ampliamente utilizado para la remoción de sólidos en suspensión es el filtro de arena que es capaz de retener partículas suspendidas en el agua. Geo (2019) manifiesta que en este tipo de filtros intervienen las fuerzas de cohesión entre el material y las partículas que se encuentran en suspensión, aunque también se pueden encontrar fuerzas de atracción electrostática como las fuerzas de Van Der Waals.

### **2.1.1.3 Filtros de flujo**

- **Flujo descendente**

Un filtro de flujo descendente es aquel que se caracteriza por utilizar la gravedad como motor principal, esto significa que, el líquido a tratarse no es bombeado, sino que pasa de manera libre a través del filtro. Lumpkin (2017) plantea que la forma de trabajo de este tipo de filtros es por medio de flujo, mismo que desciende a través de las capas filtrantes, las cuales van de diferentes espesores, es decir, de espesor medio a filtros cada vez más finos. La ventaja de la utilización de este tipo de filtros es que permite una mayor eficiencia al momento de capturar sólidos con la finalidad de mejorar la eliminación de algunos no metales entre ellos del fósforo.

- **Flujo mixto**

Los filtros mixtos normalmente son utilizados para alcanzar niveles altos de pureza después de que el agua haya sido tratada, emplea el sistema de flujo ascendente y descendente.

### **2.1.2 Material filtrante**

Estudios previos han demostrado que existen cantidades exuberantes de contaminantes en el agua residual textil, entre ellos, partículas de colorante y metales pesados. Para la eliminación de

estos se han utilizado diversas técnicas entre ellas la adsorción para la remoción y recuperación de las partículas antes mencionadas. Son varios los tipos de adsorbentes existentes que pueden ser empleados para la remoción de partículas en suspensión y metales pesados, entre ellos adsorbentes sintéticos y también naturales como la arcilla, zeolita, enzimas de hongos, resinas, carbón activo entre otros (Torres, 2013). El beneficio del uso de adsorbentes de origen natural radica en que presentan un menor costo a comparación de los adsorbentes sintéticos que, pese a que no son tóxicos y generan una tasa de adsorción relativamente alta, su costo puede llegar a ser muy elevado, sin embargo, existen otros elementos que contienen una gran tasa de adsorción entre los cuales cabe destacar el quitosán, hongos y la fibra de pluma de pollo.

- **Adsorción**

La adsorción es un fenómeno físico en donde un elemento que puede encontrarse en diferentes estados, entre ellos líquido o gaseoso, entra en contacto con un sólido que es adsorbente, logrando así que se adhiera a la superficie de este mediante fuerzas físicas conocidas como dispersión de London y también fuerzas de Van Der Waals, no implica intercambio de electrones por lo cual es un proceso reversible (Carbotecnia, 2021). Debido a que es un proceso en el cual se pueden tratar otros elementos que se encuentran en diferente estado como líquido, gaseoso es muy utilizado en diversas industrias para la eliminación de humedad reteniendo partículas de agua o para la eliminación de partículas en suspensión utilizando diferentes elementos que tienen la capacidad de adsorción entre ellos del que más destaca es el carbón activado.

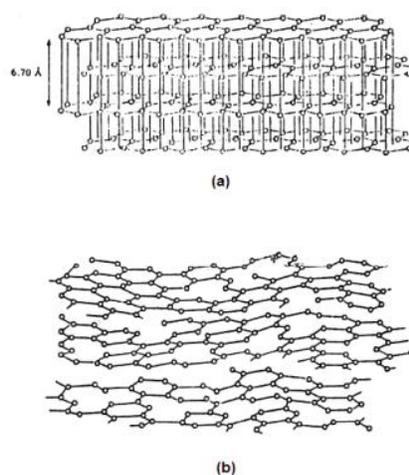
#### **2.1.2.1 Tipos de adsorbentes**

- **Materiales carbonosos**

- a) **Carbón activado**

El carbón activado es similar a otros tipos de carbón, formando así parte del grupo de los

materiales carbonosos, su estructura y propiedades son similares a las del grafito, la única diferencia entre el grafito y el carbón activado es que el carbón activado no presenta una estructura tan perfecta como el antes mencionado. Salinas (2019) establece que el carbón activo es poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales que varían dependiendo de la materia prima y el proceso de activación. Para la activación del carbón activado se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes como la temperatura, cantidad de vapor en el proceso de fabricación, lo que ayuda a crear una mayor porosidad en su estructura como se puede apreciar en la figura 3 que se encuentra a continuación:



**Figura 3.** Estructura del grafito y carbón activado

**Fuente:**(Salinas, n.d.)

La primera imagen corresponde a la estructura del grafito, que presenta una estructura ordenada, a diferencia de la segunda imagen en donde se representa la estructura del carbón activado.

### **b) Nanofibras de carbono**

Las nanofibras de carbono son un material que está compuesto por carbono de naturaleza

grafítica cuyo diámetro oscila entre los 3 a 100 nm, se conocen como nanofibras debido a que presentan un hueco en su interior, creando una forma tubular. Las emisiones de carbono poseen un sinnúmero de características que están ligadas a su estructura y que no se pueden encontrar en otros materiales por lo que se considera un material propenso a la explotación en diversas áreas de aplicación (Del Río et al., 2017). Cabe destacar ciertas propiedades como es su porosidad y su estructura cristalina que le dota de conductividad eléctrica, térmica y alta resistencia química.

### **c) Xerogeles de carbón**

Las selecciones de carbono son materiales derivados del carbono, producidos a través de reacción de policondensación entre el benceno y un formaldehído, un tipo de disolvente de los como el agua, metanol, acetona entre otros, estos compuestos de carbono poseen una gran cantidad de propiedades que les dan un valor añadido, como su porosidad, superficie específica, gran cantidad de volumen de poros baja resistividad y alta conductividad eléctrica (Hernández et al., 2017).

- **Arcillas**

#### **a) Bentonita**

Las arcillas son rocas blandas que se vuelven muy frágiles cuando están en estado seco y poseen muchas capacidades entre ellas la de adsorción, por lo cual, son ampliamente utilizadas en procesos de tratamientos de agua residual. Sec (2018) considera que la bentonita es una arcilla muy fina, formada por diferentes minerales, haciéndola una arcilla muy pegajosa, con un alto grado de encogimiento y posee una tendencia a fracturarse en el momento de cocción o enfriado, usualmente se emplea en la industria petrolera con la finalidad de laborar lodos para la perforación y también se utiliza para la creación de moldes para fundición como agente aglutinante para la producción del hierro, clarificación de vinos y jugos.

## **b) Caolinita**

Caolín es un silicato de aluminio hidratado perteneciente al grupo de las arcillas, puesto que posee una apariencia y textura similar a ellas. Es un producto altamente higroscópico que posee un brillo terroso y plasticidad baja mente moderada, se la encuentra en color blanco, aunque, al poseer partículas de hierro se afecta el color del caolín deteriorando así su utilidad en diversas aplicaciones. Se emplea altamente en la industria para la elaboración del papel puesto que ayuda a la mejora de impresiones y hace que la superficie de las hojas sea más blanca y suave, para las pinturas, en las cerámicas, cauchos, plástico, tintas; Venegas (2016) afirma que la calidad del caolín está afectada por las impurezas ya que se puede encontrar una gran cantidad de minerales como el hierro, lo cual disminuye su índice de blancura dándole así una coloración café amarillenta, estos dependiendo de la cantidad de hierro que se encuentra sobre ella. Por lo antes mencionado, es necesaria la remoción del hierro del caolín para lo que se utilizan diferentes medios físicos y químicos, físicos como la flotación o separación magnética y tratamientos químicos en donde se puede disolver el hierro en soluciones ácidas.

- **Otros adsorbentes**

### **a) Gel sílice**

El gel de sílice es una sustancia insoluble en agua y en otros solventes, inodora y químicamente estable y no tóxica, posee algunas características como alta capacidad de absorción ya que es capaz de absorber hasta alrededor de 40% de su peso, tiene estabilidad con la temperatura y propiedades físicas estables (Silvera, 2004). Se considera que la sílice gel es uno de los desecantes más utilizados en el sector industrial, debido a sus características como el bajo costo, su disponibilidad dentro del mercado, la alta adsorción de humedad, ayudando así a solucionar diferentes problemas ocasionados por la misma, como la corrosión, generación de olores y proliferación de hongos como

el moho.

### **b) Alúmina**

La alúmina es un tipo de adsorbente que se obtiene del hidróxido de aluminio, por lo que se conoce como alúmina química. Para la activación de la alúmina se debe calentar la alúmina y deshidratar el hidróxido de aluminio, comúnmente utilizada para la absorción de gases, agua y otros líquidos. Xian (2018) considera que el problema con la alúmina radica en que, al momento en que se satura se debe calentar la alúmina alrededor de 315°C para poder reactivarla. La ventaja de este producto es que se puede reactivar varias veces haciéndolo así propicio para su reutilización como adsorbente en diferentes industrias, para la eliminación de flúor en el agua potable, producción de oxígeno, eliminación de partículas de colorante en la industria textil entre otros.

#### ***2.1.3 Plumas de pollo como material filtrante***

Se considera una pluma a una pieza que tiene origen en la epidermis de las aves, están compuestas por un sinnúmero de estructuras físicas y también químicas. Las plumas están compuestas por queratina la cual es una proteína que otorga a las plumas durabilidad y resistencia (Gómez, 2018).

La queratina es esencial en las plumas de las aves, al ser un material proteínico, estas proteínas actúan como un imán para retener metales pesados. Martínez (2019) afirma que: “una sola membrana de las plumas de pollo logra limpiar hasta 10 litros de agua contaminada con una concentración de 20 ppm de cromo, arsénico”. Las propiedades de adsorción presentes en las plumas de las aves y su alta cantidad de proteínas las hacen propicias para su utilización para la retención de partículas.

- **Filtración de agua contaminada con petróleo crudo**

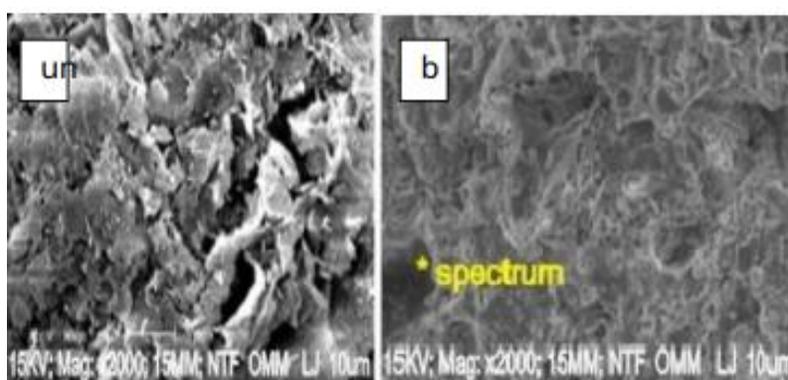
Un estudio realizado en Umudike (Nigeria) determinó que, las plumas de pollo pueden ser

utilizados como material adsorbente del agua contaminada con petróleo crudo. Para esta investigación fue necesaria la pulverización de las plumas de pollo, mismas que fueron colocadas en el agua contaminada con petróleo crudo, después de que el agua contaminada con crudo se agitará por 20 minutos a 300 rpm de velocidad, se realizó el proceso de filtrado.

Okoya et al. (2020) menciona que:

Para la determinación de la adsorción, se registró el peso del adsorbente mojado y se registró por separado el peso del filtro (aceite y agua) así como el agua separada del filtrado. La cantidad de aceite adsorbido fue determinado mediante la resta del contenido de agua y el peso inicial del adsorbente del adsorbente humedecido total, con lo que se logró determinar el peso del aceite adsorbido. (p.4)

Después de realizar los análisis respectivos se pudo determinar que el uso de plumas de pollo como adsorbente es eficiente para el trapeado de derrame de crudo en el agua. A continuación, se visualiza una vista microscópica de las plumas de pollo pulverizadas:



**Figura 4.** Superficie adsorbente, plumas de pollo

**Fuente:** (Okoya et al., 2020)

La figura “a” hace referencia a la superficie de las plumas de pollo pulverizadas, previo al proceso de retención de crudo, mientras que la figura “b” muestra la superficie de las plumas después del proceso de adsorción, con lo que se puede concluir que el crudo se alojó en grandes cantidades en la superficie de esta.

### **2.1.3.1 Estructura filtrante**

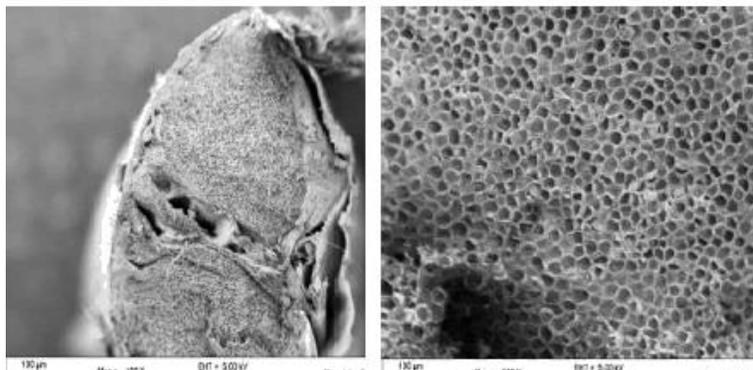
Las plumas de aves son un subproducto proveniente de la industria avícola y que es generado en grandes cantidades, este se considera una fuente renovable de material con características adsorbentes, pese a estas cualidades no ha sido explotado. Se han realizado estudios en dónde se ha evaluado la capacidad adsorción que poseen las plumas de las aves.

Monroy (2007) menciona que:

Se utilizaron plumas de pollo tratadas químicamente con hidróxido de sodio para la remoción de cromo y zinc, otro estudio demuestra que se utilizaron las fibras de pluma de pollo con y sin tratamiento de hidróxido de sodio para la remoción de metales pesados como el magnesio, hierro y cromo. Estos estudios muestran que dichos residuos agrícolas es una opción viable para la remoción de estos tipos de contaminantes existentes en el agua.

(p.2)

Esta capacidad adsorbente es otorgada a las plumas de los pollos debido a que contienen una superficie adsorbente tal como se muestra en la figura 5:



**Figura 5.** Sección transversal de la pluma de pollo.

**Fuente:** (Tsfaye et al., 2018)

La figura indica el área porosa existente en la superficie de las plumas de las aves, que se encuentran recubiertas por una capa de grasa por lo que es indispensable su tratamiento con hidróxido de sodio para la remoción de esta.

### **2.1.3.2 Filtros empleando plumas de pollo**

- **Filtro para agua residual**

Un estudio realizado por la universidad de Alberta (Canadá) establece que las plumas de pollos son un desecho generado por la industria avícola, no es aprovechado por lo que para su eliminación se procede a incinerar o arrojar al relleno sanitario, generando así mucha más contaminación. La alternativa para su aprovechamiento es la creación de un filtro para agua residual.

Muhammad (2022) establece que:

Mediante el uso de plumas de pollo se puede eliminar varios metales pesados como plomo, hierro, arsénico, mercurio. El proceso es simple, consiste en secar las plumas, triturarlas y tratarlas químicamente, de esta forma se puede hacer uso para la retención de metales.

Empleando este filtro se pudo establecer que las plumas de pollo son capaces de retener hasta un 99% de la cantidad de metales existentes en el agua residual debido a su composición de queratina y superficie adsorbente.

- **Filtro aire/gas**

Las plumas de pollo se pueden utilizar para el tratamiento de aguas residuales, pero también para la retención de partículas que se encuentran en el aire, el caso del filtro realizada a partir de plumones en donde, previo a un tratamiento, se forma una pulpa con las plumas. Ronie (2017) refiere que, mediante el agua, se mezcla la cantidad adecuada de plumones con agentes aglutinantes en forma acuosa y se comprime la primera capa hasta lograr un espesor determinado; posterior a ello se somete la primera capa a un tratamiento térmico con la finalidad de activar el aglutinante y de esta forma se obtiene un filtro capaz de retener partículas de polvo que se encuentran en el aire.

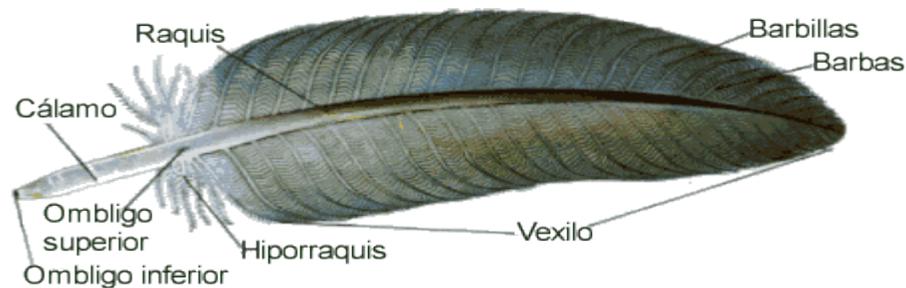
## **2.2 Marco conceptual**

### ***2.2.1 Plumitas de pollo***

Las plumas son una estructura que deriva de la piel del ave, su finalidad es actuar como cubierta protectora, protegiéndolos de las inclemencias del clima como frío, lluvia, sol y de esta forma evitar lesiones en la piel del animal e inclusive pueden servir de camuflaje, además hacen que sea posible el desplazamiento en el agua y aire (Sembrados, 2014).

### 2.2.1.1 Partes de una pluma

- **Raquis:** se conoce como raquis a la parte central de la pluma, su misión es actuar como eje central y posee un hueco en su parte interna, es muy ligera, pero ayuda a proveer rigidez para mantener a la pluma firme (Administrador, 2015).
- **Cálamo o cañón:** esta estructura se encuentra en la parte inferior del raquis y posee una estructura ancha y hueca, es en donde se inserta la pluma con la piel, la parte inferior es conocida también como ombligo y es por donde la pluma es alimentada durante su crecimiento (Navarro & Benítez, 2016).
- **Vexilo:** esta estructura crece en la parte lateral del raquis a manera de una lámina dividida por dos partes que se encuentran de forma opuesta (Administrador, 2015).
- **Bárbulas:** son las encargadas de dar texturas ligeras y una capacidad de soportar cargas pesadas al momento de vuelo del ave. La bárbula posee láminas delgadas y rectas en forma perpendicular al raquis, conocido también como barbas (Navarro & Benítez, 2016).



**Figura 6.** Partes de la pluma

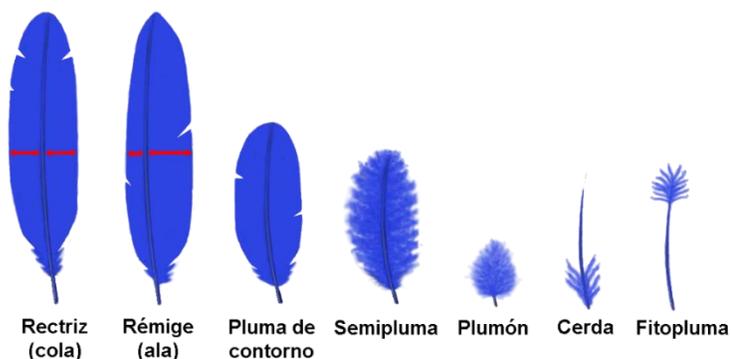
**Fuente:** (Sembrados, 2014)

### 2.2.1.2 Tipos de pluma

La forma de las plumas depende de la zona del cuerpo del ave y la función que desempeña cada

una de ellas, por lo cual existen diferentes tipos como las plumas típicas, cambio, de contorno, el plumón, semi plumas y vibrisas o bridas.

- **Plumas típicas:** se encuentran en la parte exterior del cuerpo de las aves, es decir las alas y cola. Navarro & Benítez (2016) establecen que las plumas típicas se caracterizan por ser cortas y simétricas, la importancia de estas radica debido a que son esenciales durante el vuelo, en las alas, a más del ayudar durante el vuelo, sirven para el cortejo y tiene función termorreguladora.
- **Plumón:** este tipo de pluma posee el raquis corto o muchas veces es ausente de raquis, posee válvulas sin ganchillos y barbas largas, son esenciales para mantener el calor del ave y aparecen como primer plumaje después de que el ave salió del cascarón, aunque también se puede encontrar en las aves adultas debajo de las plumas típicas (Senar, 2014).
- **Semi plumas:** estas plumas se caracterizan porque poseen un raquis muy desarrollado y con barba sin ganchillos, se encuentran en un punto medio entre el plumón y la pluma del contorno. La función de estas plumas es ayudar a evitar la fricción puesto que se encuentran en áreas específicas (articulaciones) como codos y axilas (Senar, 2014).
- **Bridas o vibrisas:** poseen un raquis grueso y rígido con pocas barbillas. Se encuentra en zonas específicas como el rostro del animal, pico y sobre los ojos, se cree su función es sensorial a manera de los bigotes de los gatos (Navarro & Benítez, 2016).



*Figura 7. Tipos de plumas*

*Fuente: (Navarro & Benítez, 2016)*

La figura 7 indica los diferentes tipos de plumas que se encuentran presentes en el cuerpo de las aves, las cuales tienen diferentes funciones, de acuerdo con su forma y ubicación del cuerpo del ave.

### 2.2.1.3 Características físicas de las plumas de pollo

La caracterización de las propiedades físicas presentes de las plumas de las aves se ha realizado mediante métodos convencionales utilizados para fibras naturales como lana y algodón.

- **Longitud de fibra:** las plumas de pollo contienen una longitud de fibra diferente dependiendo del área de donde ha sido tomada la muestra, el raquis presenta una longitud entre 40 y 150 mm. Tesfaye et al. (2018) establece que las púas presentan una longitud que varía desde 1 a 45 mm por lo que se puede considerar que esta pluma es ideal para los procesos de hilado debido a que se encuentra en los rangos de fibras textiles cortas y también medias, sin embargo, se debe tomar en cuenta que puede afectarse el límite de hilado y otras características.
- **Bárbulas:** poseen una longitud que va de los 1-800 micrómetros por lo que no son aptas

para su uso en otros procesos.

- **Diámetro de la fibra:** las bárbulas poseen un diámetro del rededor de 4.9 a 3 micrómetros, el raquis tiene un diámetro mucho mayor dentro de las plumas de las aves. Las dimensiones presentes en el diámetro de las púas de las plumas se pueden considerar que son fibras medianamente finas (Teskaye et al., 2018).
- **Estructura morfológica:** la superficie presente en las plumas de pollo presenta ciertas celdas huecas en forma de un panal de abeja que van en dirección hacia la sección transversal de la misma. En el área del raquis también presentan zonas huecas los cuales son muy accesibles para fluidos y también el aire, estas estructuras a forma de un panal de abeja proporcionan alta resistencia y también ligereza a la pluma.

Teskaye et al. (2018) afirma que:

La presencia de bolsas de aire extensas (estructura de panal) en la estructura de las plumas de pollo de desecho implica que la pluma pueda flotar sobre el agua y por lo tanto actuar como material súper adsorbente para aceites y materia en suspensión presentes de superficies del agua. (p.4)

#### **2.2.1.4 Características químicas de las plumas de pollo**

Las plumas de pollo se consideran una fibra proteínica debido a que está compuesta alrededor de un 83% de diferentes proteínas, una de las principales que componen las plumas de las aves es la queratina ya que representa al 85% e incluso el 90% de composición del total del resto de proteínas presentes en las plumas. La queratina se considera una proteína insoluble y que está compuesta por otras proteínas como la cisteína y la glicina las cuales actúan como un imán para atraer sólidos en suspensión debido a que tienen capacidad de formar enlaces a manera de una red tridimensional, adicional a ello permite que la queratina se convierte en una proteína hidrofóbica

de gran resistencia lo mismo que da a las plumas un alto grado de insolubilidad y generan gran rigidez en su estructura (Rofner, 2019).

Posee altas cantidades de grasa cruda, la grasa cruda es una estimación al contenido total de grasa en que se encuentra en las plumas, es decir, los triglicéridos presentes en las plumas tales como serás esteroides, ésteres y otro tipo de lípidos. Según un estudio realizado por Tesfaye (2017) afirma que “las plumas de pollo contienen alrededor de un 3% de grasa lo cual es indicativo de una ruta o potencial para el beneficio de las plumas”. Con esto se considera que al encontrar grasa en las plumas de pollo se podría utilizar para la producción de alternativos grasos como la producción de biodiesel a partir de plumas de pollo.

- **Análisis CHNA**

Este es un análisis que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, el cual es obtenido mediante porcentajes en relación con el peso de la muestra, las cuales pueden estar en estado sólido y líquido y pueden ser de materia orgánica e inorgánico; respecto a las plumas de pollo, Tesfaye et al. (2018) encontró altos contenidos de carbono e hidrógeno y alrededor de un 27% de otros compuestos como oxígeno y materia inorgánica. Con lo antes mencionado se puede destacar que el alto contenido de carbono, hidrógeno hacen propicias a las plumas de pollo para su utilización como fuente de energía y al estar compuestas por aproximadamente un 10% de nitrógeno éstas pueden ser utilizadas para la producción de alimentos para animales y también compostes.

### **2.2.2 No tejidos**

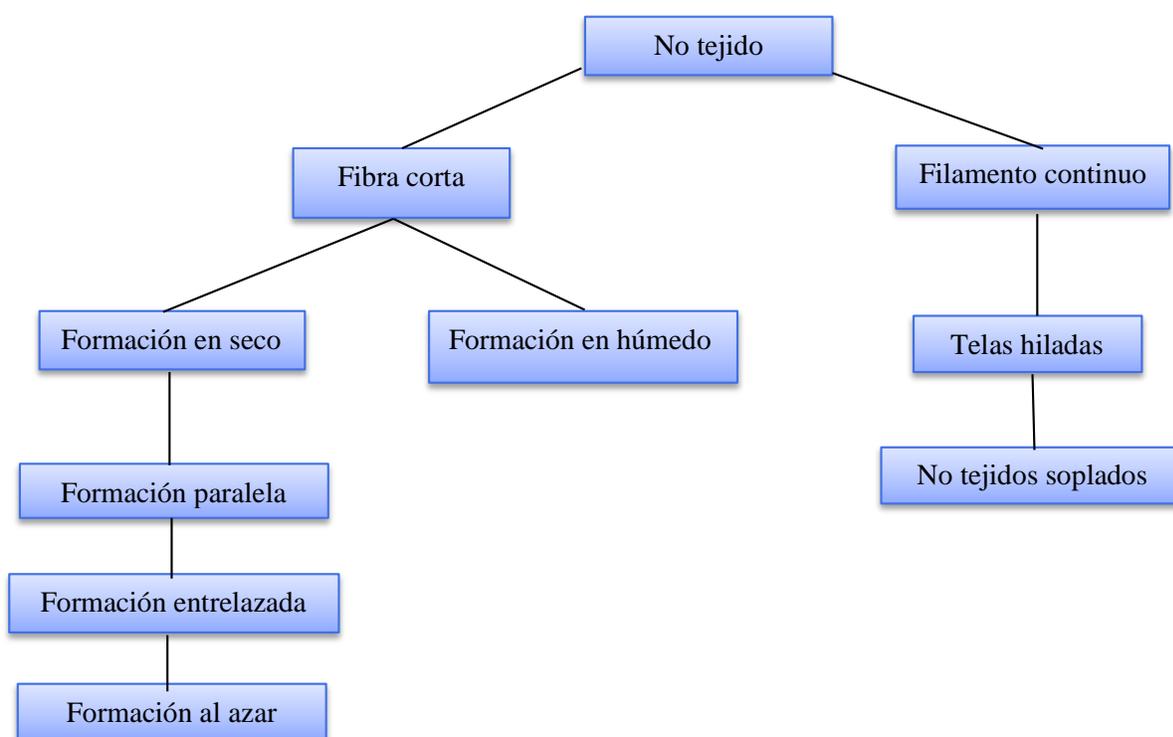
Un no tejido es una estructura plana y flexible que se puede constituir a través de una manta de fibras, filamentos orientados, consolidados por diferentes procesos como procesos mecánicos, fricción, químicos y también térmicos (Borovich, 2015).

### 2.2.2.1 Clasificación por la formación de la manta

Estructura puede ser consolidada por diferentes procesos

- Vía seca
- Vía húmeda
- Vía fundida

A continuación, en la figura 8 se detallan los diferentes tipos de no tejidos acorde a su formación:



*Figura 8. Clasificación de los no tejidos.*

*Fuente: Adaptado de (Borovich, 2015)*

Como se puede observar en el flujograma, los no tejidos se pueden realizar a partir de fibra corta y continua.

- **Vía húmeda**

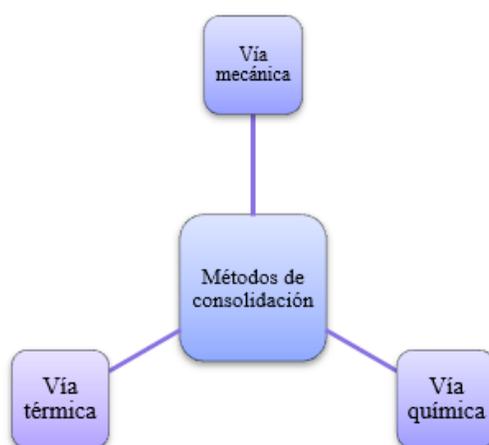
La formación del no tejido mediante la vía húmeda es una forma de elaboración muy similar a la formación de papel en donde las fibras son dispersas en el agua y posterior a eso se sobreponen en una malla con la finalidad de filtrar el líquido existente en la fibra. Patel (2016) establece que mediante esta técnica se puede producir no tejidos a gran escala, relativamente económicos, pero con baja durabilidad; sin embargo, se puede trabajar diferentes tipos de fibras como naturales, minerales, artificiales.

- **Vía seca**

Los no tejidos realizados mediante la vía seca se producen usando diferentes tipos de fibras discontinuas, para la realización de este tipo de no tejidos se debe realizar cuatro pasos el primero es la preparación de la fibra seguido de la apertura, limpieza y mezcla, una vez que se encuentra lista se realiza el proceso de cardado y la creación de la malla (Patel, 2016).

### 2.2.2.2 Consolidación de los no tejidos

Existen diversos métodos para la consolidación de no tejidos, como se puede observar en la figura 9:



**Figura 9.** Consolidación del no tejido

**Fuente:** El autor

Como se detalla en la figura, los no tejidos se pueden consolidar por 3 vías que se detallan a continuación:

- **Vía mecánica**

La unión mecánica es la unión de fibras mediante procesos de filtrado o batanado empleando presión, calor, humedad mediante el uso de agujas o también chorros de aire o agua.

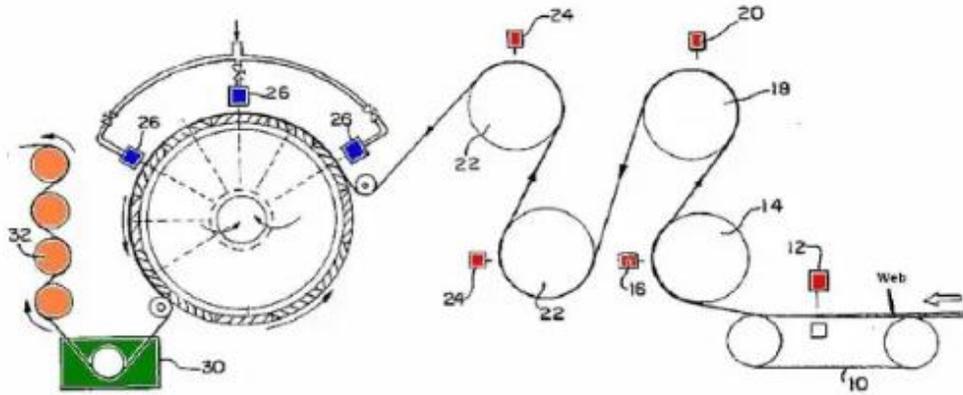
- 1. Punzonado con agujas**

Pensionados del sistema que utiliza agujas con la finalidad de unir bandas hiladas y tendidas de manera seca, este sistema usualmente usa agujas triangulares que poseen tres púas en cada tres esquinas, para este método se debe tener en cuenta diversos parámetros como la densidad de la aguja y la penetración de la aguja. La densidad de las agujas aumenta la densidad e influye en la resistencia de la tela por lo que es importante conocer el límite óptimo debido a que un exceso de agujas para como resultado la disminución de la carga a la rotura del no tejido (Patel, 2016).

- 2. Hidroenredo**

El hidroenredo se basa en un enredo mecánico de fibras cortas con red o se logra con el uso de chorros de agua a presión y otras medidas como la unión adhesiva que son importantes para unir completamente el no tejido.

A continuación, en la figura 10 se muestra el proceso de hidroenredo:



*Figura 10. Proceso de hidroenredo*

*Fuente: (Patel, 2016)*

El proceso de hidroenredo el cual consta de 4 pasos:

Patel (2016) menciona que en el primer paso el no tejido pasa a través de los puntos (12) y (24) que actúan como un dispositivo de transferencia. Seguido, a través de un conjunto de tres boquillas en donde se produce el enmarañamiento (26). Posterior a ello, el no tejido pasa a través de una estación en donde se aplica aglutinantes poliméricos (30) y finalmente el no tejido pasa por una serie de rodillos de secado que se encuentran a 310 grados centígrados (32).

- **Enlace químico**

Las fibras se unen mediante un enlace polimérico, los adhesivos más empleados es el alcohol polivinílico, cloruro de polivinilo, aglutinantes para acrílico y acetato, el uso de aglutinantes dependen del tipo de fibra y el uso final que se pretende dar al no tejido.

### **1. Enlace adhesivo por saturación**

Es un proceso simple en donde el no tejido se sumerge en un baño que contiene adhesivos, la cantidad absorbida por la red es controlada por la cantidad de adhesivo que se encuentra en el baño y por el grado de compresión que se aplica al material. La aplicación de polvos es un método, el cual consiste en depositar un polvo adhesivo termoplástico sobre el no tejido. El simple proceso es simple, en donde el polvo se vierte desde un recipiente que contiene ranuras y pasan de forma paralela a un rodillo, cuando este entra en contacto con el rodillo cae por las ranuras y entra en contacto con el no tejido (Patel, 2016).

- **Enlace térmico**

Es un proceso muy antiguo y que posee mayores ventajas en tanto a costos de energía. En todo este proceso uno de los más empleados es del calandrado en caliente el cual utiliza una cinta que posee rodillos calientes, los productos unidos mediante el calandrado en cinta son menos densos y otorgan al tejido una apariencia muy parecida a la del papel, la ventaja de este proceso es que es sencillo y el uso de una banda facilita el empleo de ligantes para su fusión (Patel, 2016).

### ***2.2.3 Agua residual textil***

La industria textil se caracteriza debido a que para la realización de diversas actividades como la tintura de géneros textiles emplea una gran cantidad de agua, energía y también productos químicos que ayudan al proceso de teñido. Córdor (2017) afirma que este proceso genera una gran cantidad de agua residual, las cuales contienen elevadas concentraciones de contaminantes como colorantes, materiales en suspensión y también compuestos clorados, ya que no siempre la producción es continua se puede crear la variabilidad de contaminantes en el agua residual generando de esta forma que sea mucho más difícil el tratamiento de estas.

### 2.2.3.1 Caracterización del agua residual.

La caracterización del agua residual es un procedimiento que se realiza a través de normas, con la final de determinar las propiedades químicas del agua y así establecer el grado de calidad de esta en función de su contaminación. Esparza (2016) establece que para la caracterización del agua residual se utilizan aquellos parámetros que resultan después del proceso y los residuos posteriores a su tratamiento, los parámetros más importantes a considerar en la caracterización del agua residual textil son:

- **pH:** (Pondus Hydrogenium) es el coeficiente que indica el grado de alcalinidad o acidez de una solución acuosa. Lenntech (2019) afirma que:

El pH indica el número de iones de hidrógeno puesto que literalmente el pH y se refiere al peso que tiene el hidrógeno y está determinado por el número de iones de hidrógeno que se encuentran en una sustancia, cabe recalcar que el pH no se expresa en unidades sino simplemente en número en donde los valores van del 0 al 14 siendo así el valor 0 el más ácido, el pH 7 neutro y el 14 un pH básico.

- **DBO:** conocida también como demanda bioquímica de oxígeno.

Varios autores afirman que:

Es un parámetro analítico utilizado para caracterizar la contaminación del agua residual con la cual se pretende determinar la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos aerobios para poder degradar la materia orgánica en una muestra de agua bajo determinadas condiciones de temperatura y tiempo. La demanda química de oxígeno se expresa en mg/ L de O<sub>2</sub> y se puede considerar que es una medida aproximada a la demanda de oxígeno que es consumida para poder oxidar la materia orgánica con la con la finalidad de transformarla en inorgánica (Verma & Singh, 2013).

- **DQO:** también es conocido como la demanda química de oxígeno requerida para la determinación de cantidad de oxígeno necesario para lograr oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua y debe ser realizado bajo condiciones específicas de agentes oxidantes, tiempo y temperatura (Rodríguez, 2007).
- **Sólidos totales:** los sólidos totales influyen en la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos.

Jaya (2017) establece que:

Estos materiales disueltos son de origen inorgánico y en donde se pueden incluir algunos como el bicarbonato, nitrógeno, calcio, sulfato entre otros. Los sólidos suspendidos son aquellas partículas de sedimento como barro de las corrientes desechos industriales de drenaje entre otros.

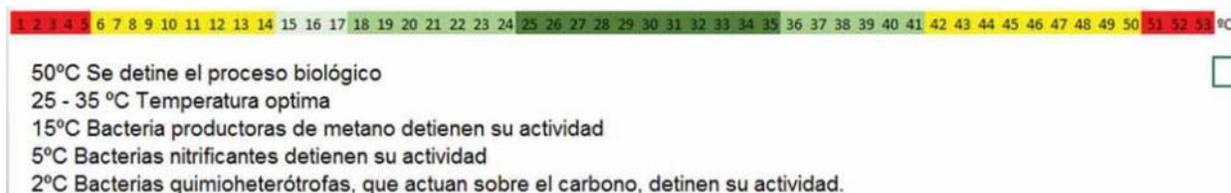
- **Color:** el color presente en el agua residual es debido a la presencia de sólidos de suspensión, sustancias en solución y también materia coloidal.

Verma & Singh (2013) afirman que:

El color puede estar ligado a la turbiedad presente en el agua, el cambio de color natural del agua se puede originar por diversos factores, entre ellos la extracción de sustancias de origen vegetal, descomposición de materia orgánica, presencia de algunos metales como hierro y magnesio. Cabe destacar que el color del agua excluye a los que son provenientes de alguna actividad industrial.

- **Temperatura:** indica el grado de calor del cuerpo del agua, su unidad de medida es °C y su importancia radica en que, “si el agua se encuentra a una temperatura muy elevada, se puede dañar la biomasa; por el contrario, si se encuentra a una temperatura baja, ocurren daños en los reactores anaerobios” (Torres, 2019).

A continuación, en la figura 11 se describen los efectos de la temperatura del agua residual:



*Figura 11. Valores de temperatura*

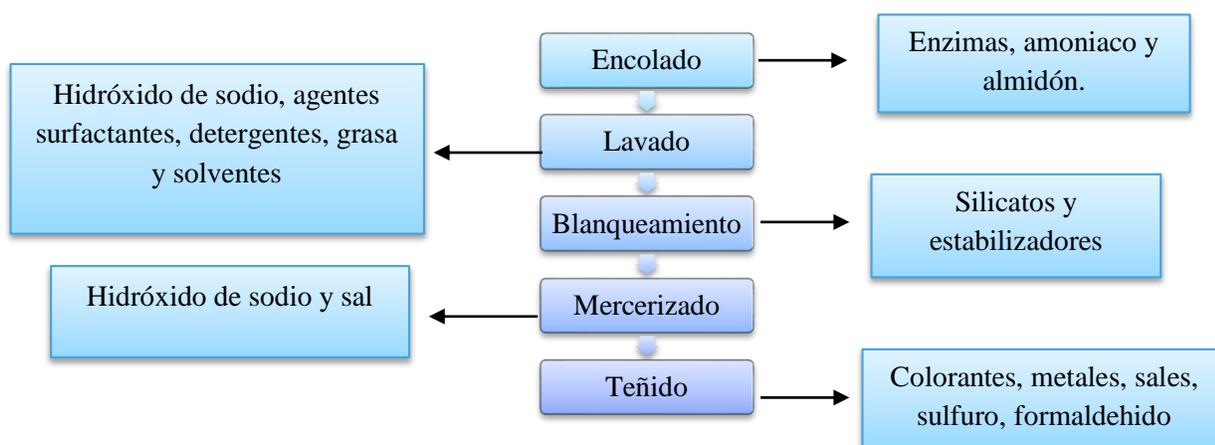
*Fuente: (Torres, 2019)*

### **2.2.3.2 Contaminantes presentes en el agua residual textil**

Actualmente, se considera que la industria textil es uno de los mayores contaminantes alrededor del mundo. Estrada (2019) afirma que los principales factores de generación de contaminantes están ocasionados por el mal manejo de los materiales peligrosos, las emisiones de contaminantes al aire, residuos sólidos y especialmente las grandes cantidades de agua residual que contienen contaminantes entre ellos los colorantes, los cuales son difíciles de degradar. La falta de tratamiento del agua residual textil puede ocasionar problemas en el ambiente contienen grandes cantidades de contaminantes que no son biodegradables y pese a ello son descargados de canales de agua, vertientes y ríos.

El alto grado de contaminación presente en el agua residual proveniente de afluentes textiles es ocasionado por contaminantes involucrados en diferentes procesos, como el descruce y tintorería. Uno de los principales contaminantes del agua residual textil son las sales como el cloruro de sodio

y agente surfactante existentes en los colorantes y solventes clorados, los cuales se encuentran en los procesos de lavado y limpieza de maquinaria y también aniones tóxicos como el sulfuro, el cual está presente en todos los colorantes en el proceso de teñido como se indica en la figura 12.



**Figura 12.** Principales contaminantes presentes en el agua residual textil.

*Fuente:* Adaptado de (Cortázar & Coronel, 2007)

En el flujograma se puede apreciar las diferentes actividades realizadas en la industria textil y los contaminantes resultantes de cada proceso.

En 1992 se realizó un estudio referente a la descarga de efluentes de agua textil provenientes del proceso de blanqueado y del teñido en donde se consume magnas cantidades de agua y se pudo encontrar que la calidad del agua residual es afectada por el proceso tintóreo, aunque eso depende mucho del tipo de colorante. Cortazar & Coronel (2007) afirman que el 50% de estos compuestos se desechan junto con el agua residual y debido a eso, los contaminantes persisten y no se pueden

remover por métodos convencionales de tratamiento de agua residual, puesto a que presentan una estructura muy compleja para su descomposición, más del 90% de colorantes no pueden ser eliminados pese a que se realizan tratamientos con lodos activos puesto a que algunas estructuras químicas presentes en los colorantes son muy resistentes a varios factores como la exposición solar o ataques con químicos haciendo que sea mucho más difícil su tratamiento por medio de degradación microbiana.

En los afluentes textiles se encuentran numerosos metales pesados, destacándose así el arsénico, cadmio, cromo, cobalto, cobre, magnesio, titanio entre otros metales que son producidos durante el proceso de teñido, aunque la cantidad de metales pesados presentes en el agua residual dependerá del tipo de colorante que se esté utilizando como se describe en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Metales presentes en los colorantes.*

<b>TIPOS DE COLORANTES</b>	<b>METALES</b>
<b>Directo</b>	Cobre
<b>Reactivo</b>	Cobre y níquel
<b>Ácidos</b>	Cobre, cromo, cobalto
<b>Premetalizados</b>	Cobre, cromo, cobalto
<b>Mordante</b>	Cromo

**Fuente:** (Cortázar & Coronel, 2007)

Como se describe en la tabla, uno de los metales más comunes en cualquier tipo de colorante es el cobre, el cual tiene efectos negativos en el suelo puesto a que elimina microorganismos disminuyendo de esta forma la fertilidad del suelo, ocasionado por el exceso de contaminantes presentes en el agua residual textil. Es importante la utilización de métodos efectivos para la remoción de colorantes existen varios métodos, por ejemplo, la absorción y transformación química.

### **2.2.3.3 Tratamientos de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales es una serie de procesos que pueden ser físicos, químicos o biológicos, con la finalidad de eliminar contaminantes existentes en el agua, efluentes empleados para el consumo humano y otros.

- **Tipos de tratamientos**

Existen 3 tipos de tratamientos los cuales son: tratamiento químico, físico y biológico.

- a) Tratamiento físico**

Es aquel método utilizado para la separación de sólidos en donde influyen las propiedades físicas de los contaminantes, como por ejemplo el tamaño de la partícula, flotabilidad, viscosidad entre otros. Para este tipo de tratamientos, las técnicas convencionales utilizadas son tamizado, filtración de sólidos y separación de sólidos (Orellana, 2020).

- b) Tratamiento químico**

Son métodos en donde son de gran importancia las propiedades químicas que posee el reactivo que está incorporado en el agua, para este tipo de tratamiento se puede utilizar la eliminación de

fosfatos y nitratos, procesos de coagulación, oxidación cambio de iones entre otros (Orellana, 2020).

### **c) Tratamiento biológico**

Mediante este método se pretende eliminar contaminantes coloidales para lo cual se emplean procesos biológicos como microorganismos, los cuales actúan sobre la materia que se encuentra en suspensión, con la finalidad de transformarlo en un sólido sedimental. Se utilizan procesos aerobios o anaerobios entre los cuales se destacan el uso de filtros percoladores, lagunas aireadas entre otros (Orellana, 2020).

#### **• Etapas del tratamiento**

El proceso de depuración de aguas residuales que está dividido en cuatro etapas conocidos como pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria.

#### **a) Pretratamiento**

La etapa preliminar es realizada para medir y regular el caudal del agua que ingresa a la planta de tratamiento, y a su vez extraer sólidos en suspensión de gran tamaño como arena y grasa, en esta fase se logra la eliminación de partículas mediante procesos de filtración, lo cual es indispensable debido a que facilita el tratamiento de aguas residuales, preservación de instalaciones y a su vez, evita los taponamientos en tuberías (Troconis, 2018).

#### **b) Primario**

Este proceso se realiza la finalidad de eliminar sólidos suspendidos, los cuales son ejecutados mediante procesos de sedimentación o precipitación, o a su vez mediante la aplicación de sustancias químicas. La eliminación de sólidos se realiza dependientemente del tamaño de la

partícula, posterior a ello se añade compuestos como floculantes o sales que permitan la precipitación del fósforo disuelto en el agua residual (Troconis, 2018). Entre los principales métodos se encuentra el decantador primario conocido también como sedimentación gravitatoria, separación de partículas en suspensión mediante el uso de burbujas y finalmente tratamientos químicos por medio de la adición de algún reactivo para poder aumentar la sedimentación de los sólidos que se encuentran disueltos en el agua.

### **c) Secundario**

El tratamiento secundario se realiza con la finalidad de evacuar hasta un 90% de los contaminantes existentes en el agua residual.

Troconis (2018) establece que:

El tratamiento secundario se realiza empleado un tanque de aireación capaz de proporcionar cantidades altas de aire al agua residual que incluye bacterias y otros microorganismos. El oxígeno que se encuentra presente en el aire acelera el crecimiento de los microorganismos, que son los encargados de consumir la materia orgánica dañina existente en el agua residual.

### **d) Terciario**

El tratamiento terciario es realizado con la finalidad de eliminar agentes patógenos, aumentando los estándares de calidad. La tecnología empleada en el tratamiento terciario dependerá del tratamiento primario y secundario, a su vez de la calidad del agua que se pretende conseguir (Orellana, 2020). Las tecnologías comúnmente utilizadas en el tratamiento terciario para aguas residuales:

- **Fisicoquímicos:** para eliminar materia orgánica que se encuentra en su especie en suspensión a través de procesos mecánicos o químicos como la coagulación y floculación (Troconis, 2018).
- **Procesos de oxidación:** se realiza con la finalidad de degradar compuestos orgánicos existentes en el agua (Orellana, 2020).
- **Filtración:** es un proceso a través del cual el agua pasa por un medio poroso y de esta forma retiene una gran cantidad de materia suspensión (Orellana, 2020).

### **Filtración**

La filtración es un proceso que se realiza con la finalidad de separar partículas sólidas insolubles y se encuentran contenidas en fluidos los cuales se encuentran en diferentes estados como líquido o gaseoso, mediante el paso del fluido a través de una superficie de medio poroso. “La separación de los sólidos se logra forzando al fluido pasar mediante diferentes tipos de fuerzas como presión, superficie denominada como medio filtrante, encargada de atrapar o retener partículas sólidas en su superficie” (Irezabal, 2019).

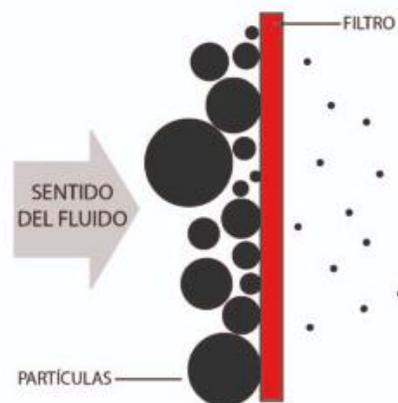
#### **2.2.3.4 Tipos de filtración**

Actualmente, uno de los mayores problemas a nivel mundial es la falta de acceso al agua potable y la infiltración de aguas residuales provenientes de diversas industrias hacia afluentes de consumo como la agricultura y ganadería, lo que causa enfermedades como diarreas, gastroenteritis entre otras; una alternativa para combatir ellos es el uso de filtros para el agua residual. Pérez (2016) determina que un filtro es un dispositivo capaz de eliminar impurezas existentes en el agua para reducir la contaminación de esta esto mediante la formación de una barrera física como un proceso químico o un proceso biológico.

- **Filtración superficial**

La filtración de superficie es aquella en la que se retienen partículas en la superficie del elemento filtrante, las partículas retenidas forman una capa de residuos conocidas como torta, que ayudan a aumentar la eficiencia de filtración puesto que las partículas que se encuentran en la superficie ayudan a impedir el paso de partículas de mayor tamaño porque forman una barrera en el filtro (Rodríguez, 2018). El medio filtrante puede ser de diferente naturaleza como permeable o semipermeable. Si el medio filtrante posee una porosidad de un diámetro menor al de la partícula existe la posibilidad de que la retención sea mucho mayor, a diferencia de cuando el diámetro del filtro es inferior al de la partícula puesto que los elementos de filtrar pueden pasar a través del filtro.

En la figura 13 se puede observar el flujo superficial, como las partículas se quedan en la superficie de filtro.



**Figura 13.** Filtro superficial

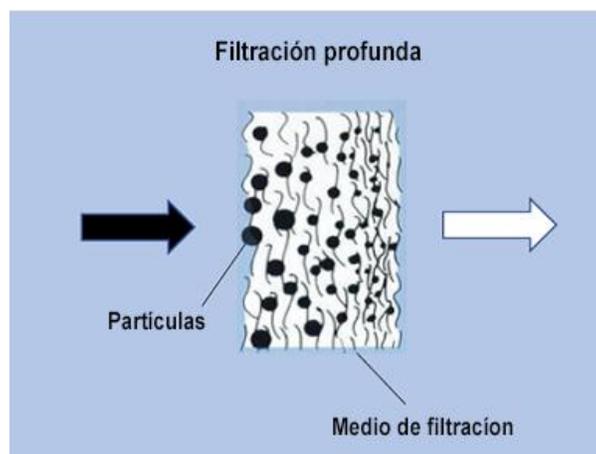
**Fuente:**(Peiro, 2018)

- **Filtración profunda**

Peiro (2018) menciona que

En este tipo de filtración la partícula tiene un menor tamaño al diámetro del poro, lo tanto, atraviesan los poros y partículas son retenidas dentro del medio de filtración, para este tipo de filtración se utilizan filtros de gran profundidad, es decir, de una capa muy alta que puede variar entre de 1 a 2 m aproximadamente.

Este tipo de filtros son utilizados cuando existen altos niveles de contaminación A continuación, en la figura 14 se detalla su funcionamiento:



*Figura 14. Filtración profunda*

*Fuente:(Aqua, 2019)*

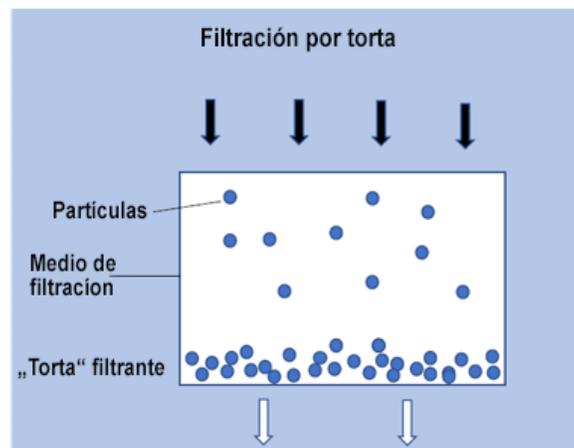
El filtro posee varias capas, lo que ayuda a que las partículas se retengan en las diferentes capas de este.

- **Filtración por torta**

La filtración mediante la torta es un proceso que combina la filtración superficial y profunda

En la superficie del filtro se acumula una pasta conocida como torta, la cual ayuda a separar partículas o a su vez se convierte en un medio filtrante. Para este tipo de filtración se requiere un medio filtrante que permita únicamente el paso del líquido y retenga una gran cantidad de partículas en la superficie, demás se requiere una fuerza impulsora (Peiro, 2018).

La filtración por torta comúnmente utilizada es mediante un filtro de tejido plano, una capa de arena entre otras, como se indica en la figura 15.



*Figura 15. Filtración por torta*

*Fuente: (Aqua, 2019)*

La figura representa la filtración por torta en donde las partículas forman una capa sobre el filtro, impidiendo así que otras partículas atraviesen el filtro.

### 2.2.3.5 Materiales filtrantes

Industrialmente existe una gran variedad de medios filtrantes especializados con la capacidad de retener sedimentos o eliminarlos de manera eficiente y efectiva y a su vez a eliminar diferentes contaminantes presentes en el agua como el color sabor dureza olor entre otros. Los materiales filtrantes más utilizados son los que se detallan a continuación:

- **Arena sílica**

La arena sílice es un compuesto resultante de la combinación del oxígeno y sílice, para la filtración de aguas residuales industriales o residenciales, tiene una alta capacidad de retención de sólidos suspendidos. Osmar (2020) establece que este compuesto pertenece al grupo de las arenas, por lo que es utilizado como lecho filtrante para potabilización del agua siendo así capaz de retener flóculos de tamaño pequeño que no son separados por otros procesos como la decantación, está compuesta principalmente por cuarzo lo que la hace insoluble en agua.

- **Grava sílica**

Es un mineral abundante en la corteza terrestre, forma parte de rocas metamórficas y sedimentarias y está formado por anhídrido silico. Tiene altas aplicaciones industriales, entre ellos como filtro multimedia y como soporte entre los medios filtrantes, se lo ubica en la parte cóncava de los tanques de filtración (Lehigh, 2017). La sílice se produce mediante la trituración de molienda y el lavado de sílice.

- **Carbón activado**

El carbón activado, conocido también como carbón activo es un elemento adsorbente debido a que contiene poros con la capacidad de atrapar compuestos orgánicos presentes en líquidos o gases.

Debido a su capacidad de adsorción se lo utiliza ampliamente para la retención de partículas provenientes de procesos de filtración (Moreno-Piraján et al., 2017).

- **Resina catiónica**

Las resinas catiónicas son materiales sintéticos utilizados para el tratamiento del agua residual cuando el agua pasa a través de la resina está es capaz de formar iones de agua existen resinas de ácidos fuertes para la eliminación de cationes de sodio protones, ácidos débiles para eliminación de cationes asociados, bicarbonatos y resinas de y base fuerte para eliminar aniones (Sánchez, 2015). El problema de estos radica en que se puede agotar su capacidad de intercambio de iones, pero se la puede reactivar utilizando sal común, ácido clorhídrico o a su vez sosa cáustica.

- **Antracita**

La antracita es un tipo de carbón que está formado por un proceso metamórfico, compuesto por altas cantidades de grafito y carbono, es utilizado en diversas industrias, mayormente en la eléctrica ya que ayuda a la generación de electricidad, debido a su poder calorífico y energética, aunque también es utilizado para el tratamiento de aguas debido a su gran poder de retención de partículas (Sánchez, 2015).

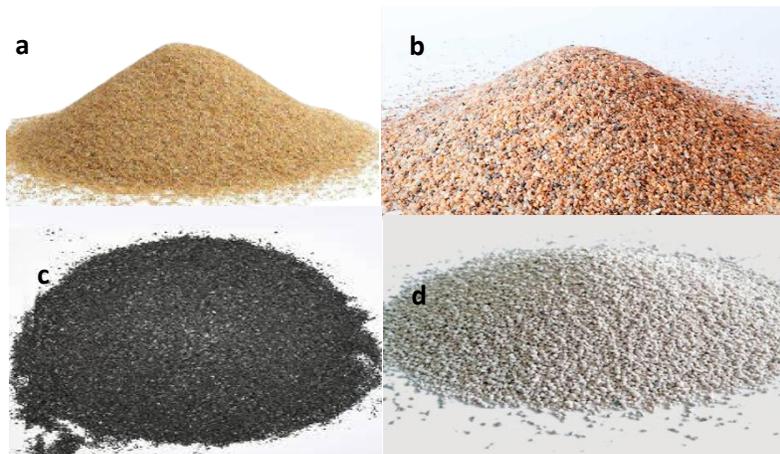
- **Calcita**

La calcita es un mineral que se encuentra presente en diferentes tipos de rocas, como las sedimentarias y metamórficas. Cedeño (2003) establece que la calcita está formada en su totalidad por carbonato de calcio, posee propiedades físicas y químicas que lo hacen propicio para el uso en diversas industrias como la construcción, farmacéutica, agrícola, para cómo pigmento y también como para el tratamiento de agua residuales.

- **Zeolita**

La zeolita comprende un grupo de minerales de origen natural que es utilizado como absorbente de humedad, tratamiento infiltración, pertenece a aluminosilicatos cristalinos que poseen una gran cantidad de por lo que les da la capacidad de absorber agua y otros compuestos para rellenar los microporos existentes de mí mismo (Cedeño, 2003). Existe un sinnúmero de tipos de zeolita diferenciándose así por su composición y la capacidad de adsorción.

A continuación, en la figura 16 se muestran los diferentes tipos de materiales filtrantes:



*Figura 16. Tipos de materiales filtrantes*

*Fuente: (Cedeño, 2003)*

La figura 16 contiene 4 tipos de materiales filtrantes siendo así arena y grava sílica, antracita y zeolita.

### 2.2.3.6 Parámetros para procesos de filtración

Cuando se utiliza un sistema de filtración es indispensable tomar en cuenta ciertos parámetros como la presión temperatura flujo y viscosidad debido a que están directamente relacionadas con los fluidos que se desea filtrar y que fluyen en el sistema de filtrado.

- **Presión:** es una medida que está expresada en kilogramos sobre centímetro cúbico ( $kg/cm^3$ ), que indica la fuerza con la que está siendo impulsado el fluido. Rodríguez (2018) establece que es muy importante conocer la presión, puesto que ciertos elementos que componen el filtro están diseñados para soportar determinados rangos de presión por lo que, si es que existe una presión demasiado alta, se corre el riesgo de dañar a alguno de los componentes del sistema.
- **Flujo:** se conoce como flujo a la cantidad de fluido que se transporta por unidad de tiempo, es decir, segundos o minutos y está expresado en galones por minuto a litros por segundo (Rodríguez, 2018).
- **Temperatura:** es un parámetro importante para conocer la temperatura máxima que soporta el medio filtrante y no dañar algún componente del filtro. Acorde el tipo de componentes del filtro soportarán determinada temperatura, como los filtros de polipropileno, los cuales soportan una temperatura máxima de 80 °C por lo que si se pretende filtrar algún líquido que se encuentra en una temperatura mucho mayor este puede resultar dañado (Irezabal, 2019).
- **Densidad:** es la relación que existe entre el peso de una sustancia y el volumen que ocupa la misma. Green (2022) establece que la unidad en la que se encuentra expresada es kilogramos sobre metro cúbico ( $kg/m^3$ ) para los sólidos y kilogramos sobre litro para líquidos y también gases ( $kg/l$ ).

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA

El presente capítulo, describe la investigación evaluada acerca del uso de pluma de pollo como una fibra textil para la elaboración de un no tejido, que tiene la función de retener partículas del colorante provenientes del agua residual textil utilizada para el proceso de teñido de fibras sintéticas, basada en investigaciones similares realizadas en varios países como Estados Unidos y Tailandia mediante el aprovechamiento de las propiedades químicas y físicas de este material

En esta investigación se valora cada una de las fuentes bibliográficas utilizadas para el desarrollo del presente proyecto las cuales son de diversos autores que han realizado proyectos de titulación, investigaciones, artículos científicos que detallan el aprovechamiento de las plumas de pollo, sus características físicas y químicas y cómo se pueden aprovechar cada una de sus propiedades.

La parte experimental se realizó empleando métodos de no tejidos por vía húmeda en donde, una vez tratadas las plumas, fueron sumergidas en agua con el propósito de lograr así su unión, posterior a ello, las plumas se pasaron a través de una malla para eliminar el exceso de agua, por último, se les proporcionó el secado empleando un horno de secado a una temperatura de 35°C con la finalidad de acelerar este proceso. La efectividad del filtro fue evaluada por medio del proceso de filtración del agua residual caracterizada.

#### 3.1 Métodos y técnicas

A continuación, se detallan los métodos y técnicas empleados para el desarrollo de la presente investigación:

### **3.1.1 Métodos utilizados**

#### **3.1.1.1 Método experimental**

En esta investigación el método experimental es uno de los más importantes debido a que permitió la demostración de la hipótesis acerca de propiedades de adsorción presentes en las plumas de las aves, esto por medio de datos numéricos obtenidos a partir de la caracterización del agua residual filtrada. La hipótesis indica que, las plumas de pollo poseen una superficie adsorbente capaz de retener partículas en su superficie, esta superficie porosa o adsorbente se encuentra bajo la película de grasa de que recubre a las plumas por lo que se debe realizar un proceso de lavado que permita remover residuos de sangre, piel y grasa.

Una vez que las plumas se encuentren limpias, se procede a trituradas puesto que el raquis es una estructura muy dura que no permite la unión entre plumas, posterior a esto, se procede a colocar las plumas en un medio acuoso para lograr que se unan, para la eliminación del exceso de agua se empleó una malla, mediante el proceso de secado se finalizó el proceso de formación del filtro.

#### **3.1.1.2 Método comparativo**

El método comparativo fue utilizado para conocer la efectividad del filtro, posterior a la filtración del agua residual, se compararon los datos obtenidos con el análisis de agua residual no filtrada y filtrada, con la finalidad de conocer si existió algún cambio en los parámetros analizados como los sólidos disueltos, pH y DQO.

#### **3.1.1.3 Método deductivo**

Se realizaron filtros de diferentes espesores, con lo que se puede llevar a cabo la comparación y análisis numérico para establecer argumentos a través del uso de tablas.

### 3.2 Procedimiento general de la investigación

En el presente flujograma se detallan los pasos generales realizados para la obtención del filtro.



*Figura 17. Flujograma general de experimentación*

*Fuente: El autor*

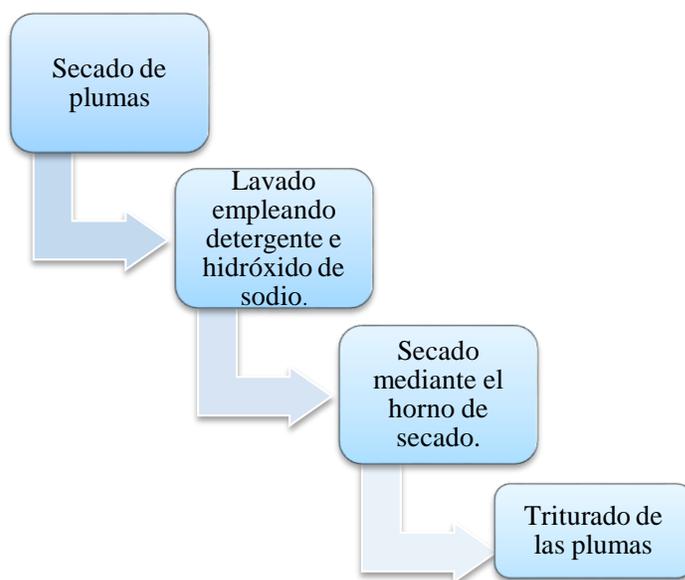
#### 3.2.1 Obtención de las plumas

Las plumas de pollo fueron indispensables para el desarrollo de la presente investigación puesto que son la materia prima para la elaboración del filtro, estas fueron recolectadas en la peladora de pollos perteneciente al asadero “El pollazo”, ubicado en la ciudad de Otavalo en donde diariamente se sacrifican alrededor de 200 pollos.

- **Tratamiento de las plumas**

El tratamiento preliminar realizado a las plumas de pollo fue de suma importancia para la eliminación de objetos ajenos a la fibra (sangre, restos de piel), y a su vez otorgar la característica

adsorbente a la pluma. A continuación, en la figura 18 se detalla el proceso realizado para el tratamiento de las plumas.



**Figura 18.** Tratamiento de las plumas

**Fuente:** El autor.

El primer paso a seguir fue la eliminación de sustancias y objetos ajenos a la fibra (plumas de pollo), como sangre, restos de piel, polvo etc. Para este proceso fueron empleados dos auxiliares como son el detergente para la eliminación de suciedad e hidróxido de sodio cuyo objetivo

principal el eliminar la grasa que recubre las plumas. Para este proceso se realizó la curva indicada en la tabla 3.

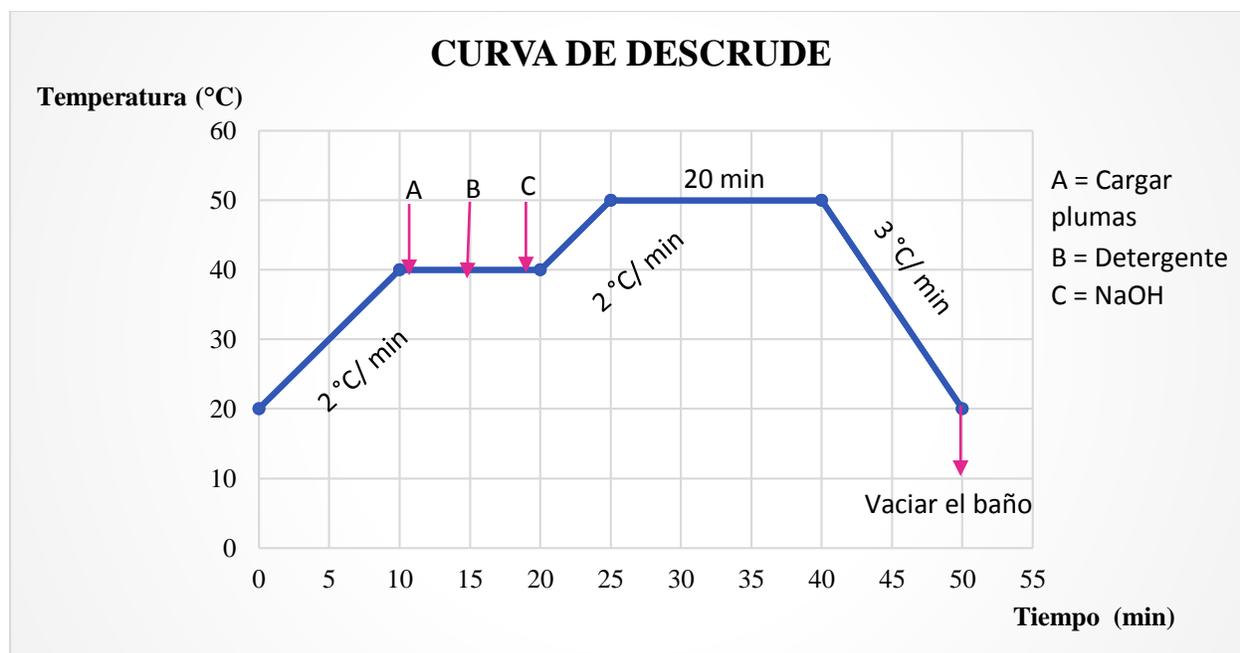
**Tabla 3.**

*Descrude de plumas*

<b>Descrude</b>		
<b>R:B</b>	1:10 (g/ml)	1000ml
<b>Peso</b>	100 g	
<b>Auxiliares</b>		
<b>Auxiliar</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Cantidad utilizada</b>
<b>Detergente</b>	1 g/l	1g
<b>NaOH</b>	3g/l	3g

**Fuente:** El autor

En la figura 19 se indica la curva del proceso de descrude, en donde se detallan cada uno de los pasos realizados durante el proceso.



*Figura 19. Curva de descrude*

*Fuente: El autor*

El proceso inicia con el agua a temperatura ambiente, una vez que el agua se encuentre a una temperatura de 40°C, se agregan las plumas, detergente e hidróxido de sodio, con una gradiente de 2°C/min se eleva la temperatura hasta los 50°C en donde se tiene un tiempo de agotamiento de 20 minutos y finalmente se vacía el baño.

Posterior al proceso de descrude, se realiza el proceso de enjuague de la fibra con la finalidad de eliminar los excedentes de auxiliares, esto se realizó utilizando únicamente agua a una temperatura de 40°C en un tiempo de 15 minutos tal como se muestra en la figura 20:



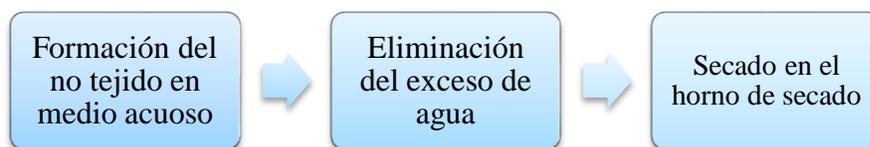
*Figura 20. Curva de enjuague*

*Fuente: El autor*

Cuando las plumas estuvieron tratadas, se procedió al proceso de secado mediante un horno de secado a una temperatura de 35°C y finalmente el triturado, a través del uso de una licuadora para que de esta forma sea más sencilla la formación del no tejido.

### 3.2.2 Obtención del no tejido

Una vez que las plumas fueron tratadas y trituradas, estas estuvieron aptas para la realización del no tejido, mismo que fue realizado como se detalla en la figura 21:



*Figura 21. Obtención del no tejido*

*Fuente: El autor*

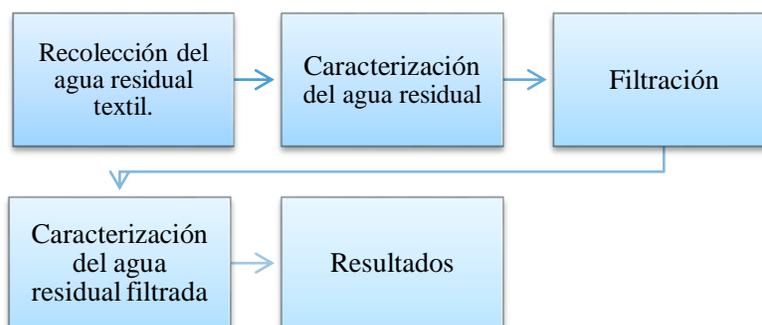
En primer lugar, se colocaron las plumas trituradas en un medio acuoso en donde fueron agitadas para que de esta forma se produzcan enredos entre ellas. Seguido a esto, se situaron las plumas sobre una malla para eliminar el exceso de agua y finalmente se secó el no tejido utilizando el horno de secado.

Se realizaron filtros de diferentes espesores, para lo cual se colocaron diferentes gramos de plumas, para el primer filtro se colocaron 20 g de plumas y se sumergieron en agua a una temperatura de 80°C, con lo que se obtuvo el primer filtro, el segundo y tercer filtro se realizaron de la misma forma, pero con diferentes cantidades de plumas siendo estas 40 y 60 respectivamente.

Las diferencias de gramos de plumas empleadas en cada filtro, influye en el espesor del filtro, el cual fue medido con ayuda de un calibrador pie de rey.

### 3.2.3 Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado.

Las pruebas de filtración fueron de suma importancia, puesto que permitieron conocer la efectividad del filtro. Este proceso fue realizado de la siguiente manera, tal como se detalla en la figura 22:



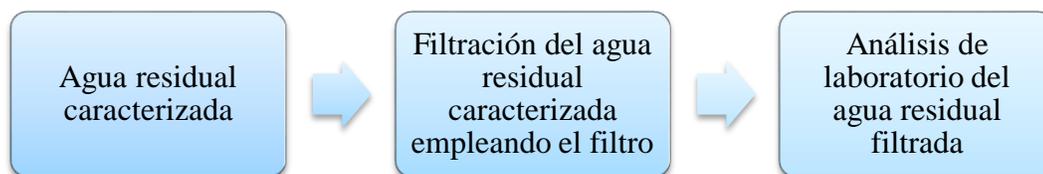
**Figura 22.** Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado

**Fuente:** El autor

1. Se inició con la recolección de agua residual textil, la cual proviene de la empresa Enkador, dedicada a la elaboración de hilos de material sintético como poliéster y nylon, para lo cual se utilizó la norma NTE INEN 2 169:68 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.
2. Una vez recolectada el agua residual, se enviaron muestras a un laboratorio externo (CENTROCESAL Cía. Ltda.) para el análisis de DQO, bajo el método Métodos estándar Ed.23.2017 y POE 7.2.37 SM 5220 D (métodos internos).
3. Los parámetros de TDS y pH, se los realizó mediante el equipo TDS, en los laboratorios de la empresa Enkador, haciendo uso de las normas SM 2510 B y NTE INEN ISO 10523 respectivamente.
4. Seguido de esto, se obtuvieron los resultados del análisis de TDS, pH Y DQO y se procedió a realizar la filtración del agua residual caracterizada.
5. Para el proceso de filtración se elaboró un recipiente en donde, en la parte superior se colocó el agua residual, en la parte inferior del recipiente superior, se colocó el filtro y finalmente en la parte inferior se colocó otro recipiente para la recolección del agua residual filtrada.
6. El agua residual filtrada fue caracterizada y se obtuvieron los resultados de los parámetros de TDS, pH y DQO, correspondientes a cada muestra de agua filtrada.
7. Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre los resultados de la caracterización del agua residual sin filtrar y la caracterización del agua residual filtrada.

#### **3.2.4 Evaluación del filtro**

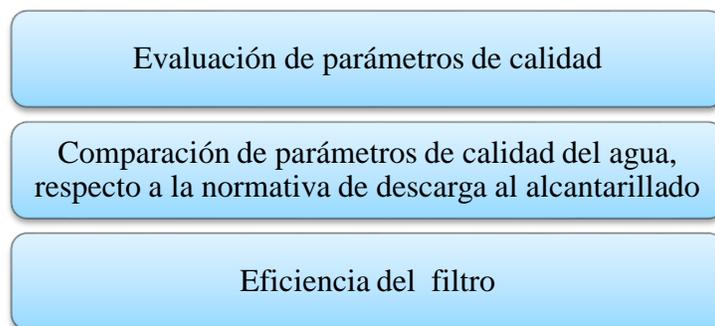
La figura 23 detalla los pasos seguidos para la evaluación de la eficiencia del filtro:



**Figura 23.** *Recolección de datos*

**Fuente:** *El autor*

Para la evaluación de la eficiencia de filtro, es importante la caracterización del agua residual puesto que esto permitió conocer la eficiencia del filtro y con ello se pudo realizar un análisis comparativo para establecer diferencias entre el agua residual sin tratamiento y posterior al proceso de filtración como se detalla en la figura 24:



**Figura 24.** *Evaluación del filtro*

**Fuente:** *El autor*

Para conocer la eficiencia del filtro, fue necesaria la recolección de datos, los cuales fueron obtenidos mediante la caracterización del agua residual filtrada y sin filtrar. Una vez obtenidos

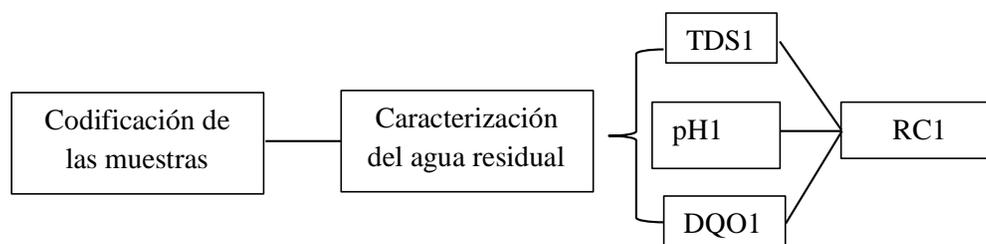
estos datos, se realizó una evaluación de los parámetros de calidad del agua residual, como son pH, DQO y TDS, empleando gráficos estadísticos que muestren la relación existente entre el espesor del filtro y la reducción de los parámetros de calidad. Posterior a ello, se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos con los establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, referente al límite de descarga al sistema de alcantarillado. Finalmente, se evaluó la eficiencia del filtro, empleando gráficos porcentuales.

Para conocer la eficiencia del filtro en la remoción de color, se ha tomado en cuenta lo establecido por Agudelo (2015) quien establece que una de las principales tecnologías empleadas y eficientes para la remoción de colorantes, es mediante procesos de filtración, empleando diversos tipos de adsorbentes.

### 3.3 Selección y codificación de muestras

- **Caracterización del agua residual**

La figura 25 hace referencia a la caracterización del agua residual sin filtrar.



A continuación, se especifica el significado de las abreviaturas utilizadas en el flujograma:

**FE:** Filtro espesor

**pH:** Potencial hidrógeno

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**TDS:** Total de sólidos disueltos

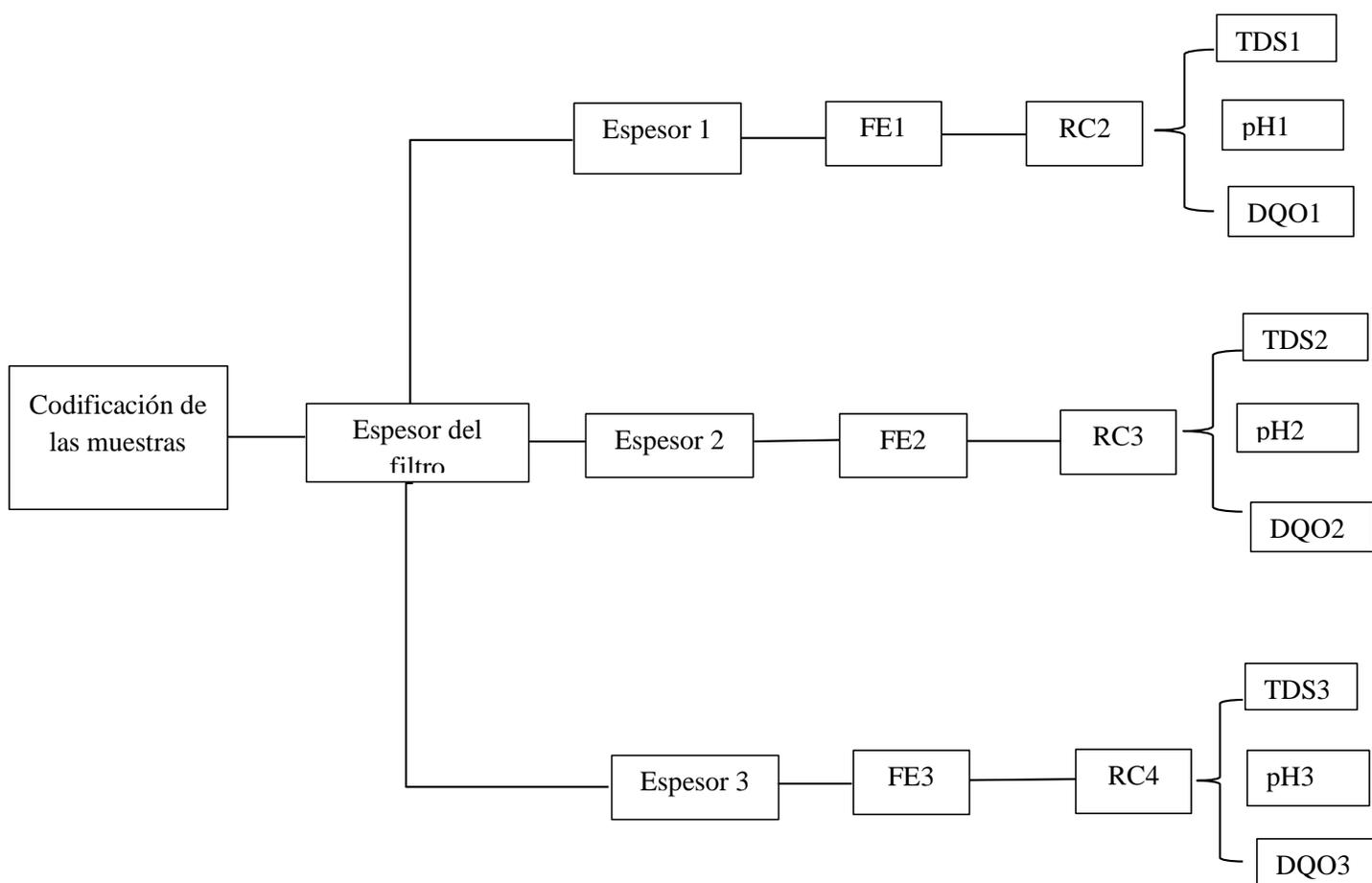
**RC:** Resultado caracterización

**Figura 25.** Codificación de muestras agua residual

*Fuente:* El autor

- **Caracterización del agua residual filtrada**

Por medio de la figura 16 se pretende dar a conocer la codificación de las muestras realizadas.



**Figura 26.** Codificación de muestras

*Fuente:* El autor

Se realizaron 3 filtros de diferentes espesores, los cuales fueron codificados de la siguiente manera: FE1, FE2, FE3 en donde F hace referencia a filtro, E el espesor y la numeración fue colocada acorde al número de filtros.

Cada uno de los filtros fueron utilizados para la filtración del agua residual textil, con el objetivo de conocer cuál de ellos tiene una mejor retención de partículas.

Para cada muestra de agua residual filtrada se realizaron los análisis de TDS, pH Y DQO, los resultados fueron codificados de la siguiente forma RC2, RC3, RCn+1...

### **3.4 Normativa utilizada**

Una vez realizados los filtros, se procedió a filtrar el agua residual, posteriormente, se caracterizó el agua residual filtrada para conocer la cantidad de sólidos suspendidos retenidos por medio del filtro y cambios en DQO, para lo cual se emplearon los siguientes métodos:

- ISO 3801:1977: Textiles-Tejidos -Determinación de masa por unidad de longitud y masa por unidad de área
- NTE INEN 2 169:68 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.
- Métodos estándar Ed.23.2017 2540: Análisis físico- químico en aguas, análisis de DQO.
- NTE INEN ISO 10523: Calidad del agua. Determinación de pH.
- Determinación de total de sólidos disueltos SM 2510 B
- Acuerdo Ministerial 097-A, Límite de descarga al sistema de alcantarillado

#### ***3.4.1 ISO 3801:1977: Textiles-Tejidos -Determinación de masa por unidad de longitud y masa por unidad de área***

Esta norma hace referencia a la determinación de la masa por unidad de longitud y la masa por

unidad de superficie que posee un género textil; para la aplicación de esta norma fue indispensable un cortador circular de  $100\text{ cm}^2$ , en donde se realizaron los siguientes pasos:

1. Colocar el género textil de manera extendida.
2. Establecer 5 puntos diferentes para la toma de muestras (5 muestras por cada gramaje).
3. Recortar los puntos establecidos, con ayuda del cortador.
4. Pesar las muestras obtenidas y realizar un promedio.
5. La tolerancia de gramaje puede ser de  $\pm 5\%$

#### ***3.4.2 NTE INEN 2 169:68 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.***

Acorde a la norma, se establece que:

1. Para la recolección del agua residual es importante conocer el tipo de análisis a realizarse, con la finalidad de escoger el recipiente adecuado, el cual debe ser lavado con agua destilada para eliminar cualquier impureza dentro del envase.
2. La recolección se realizó acorde al punto 4.1 de la norma, en donde se establece que “en muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra (INEN, 2012)”.
3. Las muestras fueron transportadas en una hielera para evitar la exposición a la luz, movimiento excesivo y cambios de temperatura.

#### ***3.4.3 Métodos estándar Ed.23.2017 2540: Análisis físico- químico en aguas, análisis de DQO.***

Son una serie de métodos empleados para el análisis físico químico en aguas, para la presente investigación se empleó este método para la caracterización del DQO del agua residual, realizada

en el laboratorio CENTROCESAL Cía. Ltda., la cual emplea este método, internamente llamado POE SM STANDARD APHA, ED 23. A continuación se detalla el significado de las siglas:

POE: Procedimiento interno.

SM STANDARD APHA: procedimiento para el análisis de DQO.

#### ***3.4.4 NTE INEN ISO 10523: Calidad del agua. Determinación de pH.***

Para la determinación de pH se empleó un pH- metro, la norma empleada establece que:

1. Durante el muestro se evitó que el agua analizada permanezca expuesta a agentes externos.
2. La muestra fue tomada sin dejar aire en el recipiente, para evitar que el oxígeno genere cambios en el pH.
3. Se calibró el equipo mediante buffers.
4. Una vez calibrado, el equipo fue lavado empleado agua destilada.
5. Cuando el equipo estuvo limpio, se realizó las medidas del pH mediante el pH-metro, sumergiéndolo en el agua durante 10 segundos y se anotaron los resultados obtenidos, para cada una de las muestras.

#### ***3.4.5 Determinación de total de sólidos disueltos SM 2510 B***

Se empleó el método SM 2510 B, utilizado para la determinación de conductibilidad eléctrica.

Los equipos TDS utilizan la conductibilidad eléctrica para establecer la cantidad de TDS.

1. Para iniciar, se calibró el electrodo con ayuda del buffer de calibración.
2. Se limpió y secó el electrodo.
3. Para la medición de TDS es recomendable que el agua se encuentre a una temperatura de 15 a 25°C, la temperatura de agua fue de 15.6°C.

4. Se sumergió el electrodo en el agua y se encendió el equipo, éste se mantuvo sumergido en el agua hasta que se estabilice el número y se registró el dato obtenido.
5. Se limpió el electrodo con agua destilada, se secó totalmente para las posteriores lecturas.

#### ***3.4.6 Acuerdo Ministerial 097-A, Límite de descarga al sistema de alcantarillado***

La norma acerca de Calidad Ambiental actual, en el Acuerdo Ministerial 097- A, trata acerca de las de los límites permisibles para la descarga de aguas residuales al sistema de alcantarillado provenientes de actividades que estén sujetas a regularización. Se empleó los valores límites máximos permisibles para descargas del sistema de alcantarillado, para realizar el análisis comparativo de los parámetros pH, DQO y TDS, obtenidos después del proceso de filtración.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados

En el siguiente capítulo, se detallan los resultados obtenidos después de haber realizado determinados procedimientos, pruebas y caracterizaciones del agua residual, los cuales serán descritos a través del uso de tablas y gráficos.

##### *4.1.1 Tratamiento de las plumas*

Mediante este proceso se logró eliminar la capa de grasa que recubren las plumas, para que de esta forma quede al descubierto la superficie adsorbente, encargada de la retención de partículas, tal como se muestra en la figura 27:



*Figura 27. Vista microscópica de plumas tratadas y sin tratar*

*Fuente: El autor*

La primera imagen corresponde a una pluma sin tratamiento previo, en donde se muestra la película de grasa que recubre la misma; en tanto que, en la segunda imagen se puede observar la pluma después del tratamiento, en donde se visualiza la superficie adsorbente presente en la fibra.



**Figura 28.** Estructura adsorbente presente en la pluma tratada

**Fuente:** El autor

La estructura adsorbente existente en las plumas de pollo es visible únicamente realizando tomas microscopias ampliadas como la que se puede apreciar en la figura.

#### **4.1.2 Obtención del no tejido**

Para la obtención del no tejido, se colocaron las plumas sobre una malla y estas fueron sumergidas en el agua, con lo que se consiguió su compactación, tal como se muestra en la figura 29:



**Figura 29.** Formación del no tejido

**Fuente:** El autor

En la figura se aprecian las plumas de pollo trituradas, las cuales fueron colocadas sobre una malla y removidas en el medio acuoso, para de esta forma lograr su compactación y, finalmente, se realizó el proceso de secado empleando un horno de secado a una temperatura de 35°C por un tiempo de 4 horas.



**Figura 30.** No tejido seco

**Fuente:** El autor

Una vez que el no tejido estuvo seco en la malla, se procedió a sacarlo del marco y con ello se logró obtener el filtro consolidado, tal cual se muestra en la figura.

#### **4.1.3 Determinación de gramaje**

Los filtros fueron realizados con diferentes cantidades de plumas, con lo que se obtuvieron diferentes gramajes, para la determinación de este se empleó la norma ISO 3801:1977. Las pruebas correspondientes a la determinación del gramaje fueron realizadas en los laboratorios de la Planta Académica Textil como se indica en la figura 31.



**Figura 31.** *Determinación de gramaje y espesor.*

**Fuente:** *El autor*

La primera imagen corresponde a los cortes realizados para obtener el gramaje, posterior a ello se realizó la toma de medidas de espesor de cada una de las muestras, empleando un Calibrador Vernier (pie de rey).

## Muestra 1

Para la realización de la muestra 1, se utilizaron un total de 20 gramos con lo que se obtuvo los siguientes resultados, detallados en la tabla 4:

**Tabla 4.** Gramaje y espesor FE1

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Total</b>
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	242.79	246.36	240.72	241.16	248.35	243.87
<b>Espesor (mm)</b>	1.72	1.75	1.71	1.72	1.75	1.73 mm

**Fuente:** El autor

Las 5 muestras presentan una ligera variación, una respecto a la otra, con lo que se obtuvo un gramaje de 243.87 (g/m<sup>2</sup>) y un espesor de 1,73 mm.

## Muestra 2

Para la realización de la muestra 2, se utilizaron un total de 40 gramos con lo que se obtuvo los resultados indicados en la tabla 5:

**Tabla 5.***Gramaje y espesor FE2*

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Total</b>
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	656.56	661.30	640.92	655.12	647.30	652.24
<b>Espesor (mm)</b>	4.48	4.50	4.43	4.48	4.46	4.47

**Fuente:** El autor

La presente tabla muestra los resultados obtenidos para la elaboración del filtro de espesor 2 (FE2), en donde se obtuvo un gramaje de 652,24 (g/m<sup>2</sup>) y un espesor de 4.47 mm.

**Muestra 3**

Para la realización de la muestra 3, se utilizaron un total de 60 gramos con lo que se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 6.***Gramaje y espesor FE 3*

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Total</b>
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	892.20	953.64	948.61	907.21	954.16	931.16
<b>Espesor (mm)</b>	5.70 mm	5.77 mm	5.76 mm	5.71 mm	5.77 mm	5.74 mm

**Fuente:** El autor

Cada una de las muestras fueron realizadas con diferentes cantidades de plumas, por lo que se obtuvieron diferentes valores respecto a gramaje y espesor. El primer filtro fue realizado con un total de 20 g de plumas, en donde se obtuvo un gramaje de 243.87 (g/m<sup>2</sup>) y un espesor de 1.73mm, el segundo filtro se realizó con 40 g de plumas, generando así un filtro de 652.54 (g/m<sup>2</sup>) con un espesor de 4.47 mm, y finalmente, el último filtro se realizó utilizando 60 g de plumas en donde se obtuvo un gramaje de 931.16 (g/m<sup>2</sup>) y 5.74 mm de espesor.

En la figura 12 se indica los gramajes obtenidos del no tejido y la diferencia de espesores.



**Figura 32.** Gramaje y espesor

**Fuente:** El autor

Se realizaron las pruebas de gramaje, se puede apreciar que existe una diferencia de apariencia y espesores, el primer gráfico corresponde al no tejido elaborando, empleando 20 g de plumas, en tanto que el segundo y el tercero se realizaron con 40 g y 60 g de plumas, respectivamente. Debido a la diferencia de gramos de plumas empleados, se obtuvieron distintos resultados en gramaje y espesor.

#### ***4.1.4 Pruebas de filtración y caracterización del agua residual y filtrado***

Para la realización de pruebas de filtración, se inició con la recolección de agua residual, debido a que esta fue analizada antes y después de su filtración.

##### **4.1.4.1 Recolección del agua residual**

Se recolectaron un total de 15 litros de agua residual bajo la norma ISO 3801:1977; proveniente de la piscina de homogenización de aguas residuales, resultantes del proceso de tintorería, se tinturaron hilos de poliéster con colores oscuros y claros, por lo que el agua residual presentaba coloración rojiza y una temperatura de 22.6 °C, como se observa en la figura 33.



***Figura 33. Recolección de agua residual, Enkador***

***Fuente: El autor***

El agua residual fue recolectada en las piscinas de homogenización de aguas residuales de la empresa Enkador, debido a la estructura presente en esta, fue necesario utilizar un recipiente adicional para la obtención del agua residual, mismo que fue previamente lavado con agua destilada para evitar la existencia de impurezas que afecten a la obtención de resultados.

#### 4.1.4.2 Filtración

El proceso de filtración fue realizado en la empresa Enkador, en donde se emplearon los filtros de diferentes espesores, que fueron colocados como se indica en la figura 34:



*Figura 34. Posición del filtro*

*Fuente: El autor*

La primera imagen hace referencia a la vista externa del filtro, en tanto que, en la segunda imagen se puede observar el empaque (azul) el cual es el encargado de evitar que existan fugas de

agua. El radio del área de filtro es de 4,3 cm, con lo que se pudo obtener el valor correspondiente al área total de filtración utilizando la siguiente formula:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,1416 \times 4,3cm^2$$

$$A = 72,38 cm^2$$

Se logró la filtración de agua residual contaminada con colorantes de fibras sintéticas, mediante el uso del filtro a partir de plumas de pollo, empleando el método de filtración por gravedad, en donde fueron filtrados 3 litros de agua por cada filtro, tal como se observa en la figura 35.



**Figura 35.** *Filtración por gravedad.*

**Fuente:** *El autor*

En la figura 35 se puede apreciar la manera en la que se realizó la filtración por gravedad, empleando un envase, en el cual, en la parte inferior se encuentra el filtro, conjunto con un empaque, con la finalidad de evitar que existan fugas de agua y, por lo tanto, se genere el paso de agua sin filtrar.

#### **4.1.4.3 Pruebas de filtración**

Las pruebas de filtración fueron realizadas empleando los filtros de diferentes espesores, y manteniendo el área de filtración, en donde se analizaron parámetros de calidad del agua residual como pH, DQO Y TDS.

#### **4.1.4.4 Caracterización de las aguas residual**

En las presentes tablas se detallan los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual filtrada.

- **Caracterización del agua sin filtrar**

La figura 36 indica cómo se realizó la caracterización del agua residual sin filtrar, empleando el equipo TDS en base a la norma SM 2510 B.



**Figura 36.** *Uso de equipo TDS, Enkador.*

**Fuente:** *El autor*

Mediante el uso del equipo TDS, se pudo obtener los valores correspondientes a TDS y pH. La prueba de DQO se realizó en un laboratorio externo en donde se obtuvieron los siguientes resultados, correspondiente a la primera muestra.

**Tabla 7.**

*Caracterización RC1*

<b>TDS</b>	<b>pH</b>	<b>DQO</b>
522 ppm	8,20	979 mg/L

**Fuente:** El autor

La tabla corresponde al resultado de la caracterización 1 (RC1) en donde se obtuvieron un total de 522 ppm, pH de 8,20 y 979 mg/L de DQO.

- **Caracterización del agua residual filtrada**

A continuación, se detallan los datos obtenidos, partiendo de la cantidad de plumas empleadas para la realización del filtro, gramajes y caracterización.

**Tabla 8.***Resumen de datos obtenidos*

<b>Muestra</b>	<b>Material empleado (g)</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
RC1	-	-	-	522	8,20	979
EF1-RC2	20	243.87	1.73	505	8,20	966
EF2-RC3	40	652.24	4.47	497	8,20	948
EF3-RC4	60	931.16	5.74	494	8,20	932

**Fuente:** El autor

El primer punto establecido en la tabla corresponde únicamente a la caracterización del agua residual sin filtrar, por lo que no se coloca ningún valor respecto a gramos empleados, gramaje y espesor. En las filas correspondientes a EF1, EF2 y EF3, se establece un resumen general, en donde se detalla la cantidad de plumas empleadas para la elaboración del filtro, gramaje y espesor obtenido de cada uno de ellos; finalmente, los resultados correspondientes a la caracterización del agua residual filtrada.

#### 4.1.5 Evaluación de resultados

En la tabla 9, se detallan los porcentajes correspondientes a la cantidad de material empleado para la elaboración de los filtros, reducción de TDS y DQO.

**Tabla 9.**

*Relación porcentual*

Muestra	Plumas empleadas (g)	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	pH	DQO (mg/L)	TDS (ppm)		
					DQO	% reducción	TDS	% reducción
RC1	-	-	-	8,20	979		522	100
EF1-RC2	20	243.87	1.73	8,20	966	1,33	505	3,26
EF2-RC3	40	652.24	4.47	8,20	948	3,17	497	4,79
EF3-RC4	60	931.16	5.74	8,20	932	4,80	494	5,36

**Fuente:** El autor.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede decir que, para la elaboración del filtro 1 (FE1), se empleó un 33% de plumas con respecto al filtro 3 (FE3); con lo que se logró una reducción del 3,26 % de TDS y una disminución del 1,33% respecto al DQO. El filtro 2 (FE2) se realizó empleando un 66% de plumas y se obtuvo una reducción del 4,79% de TDS y reducción

de 3,17% correspondiente a DQO, finalmente, el filtro 3 (FE3) se emplea como referencia, en donde el total de gramos utilizados para su elaboración corresponde al 100%, con el que se logró una reducción de 5,36% de TDS y 4,80 % de DQO.

## **4.2 Discusión de resultados**

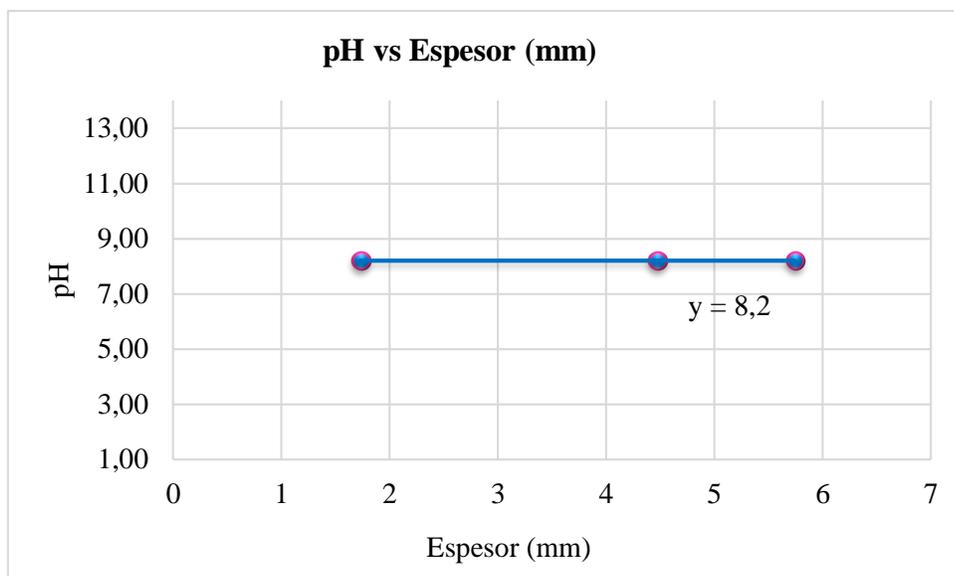
A continuación, se realiza una evaluación de parámetros de calidad del agua residual como son: pH, DQO y TDS, con relación al espesor del filtro utilizado, posteriormente se evaluará con cada espesor los valores obtenidos en la filtración, haciendo una comparación con los límites máximos permitidos para descargas en alcantarillado establecidos en la Norma de Calidad Ambiental, Acuerdo Ministerial 097-A, referente a descarga de agua utilizadas en el Distrito Metropolitano de Quito. Finalmente, se hará una evaluación general de la eficiencia del filtro de plumas de pollo en relación con los espesores.

### ***4.2.1 Evaluación de parámetros de calidad del agua respecto al espesor del filtro***

Con la finalidad de conocer la efectividad del filtro, se evalúan los resultados obtenidos en las pruebas de filtración como son pH, DQO y TDS con respecto al espesor del filtro empleado en el proceso de filtración.

#### **4.2.1.1 Evaluación de pH**

Respecto al pH, en la figura 37 se observa que no existen variaciones puesto que, este es un parámetro que no se ve afectado por procesos de filtración.



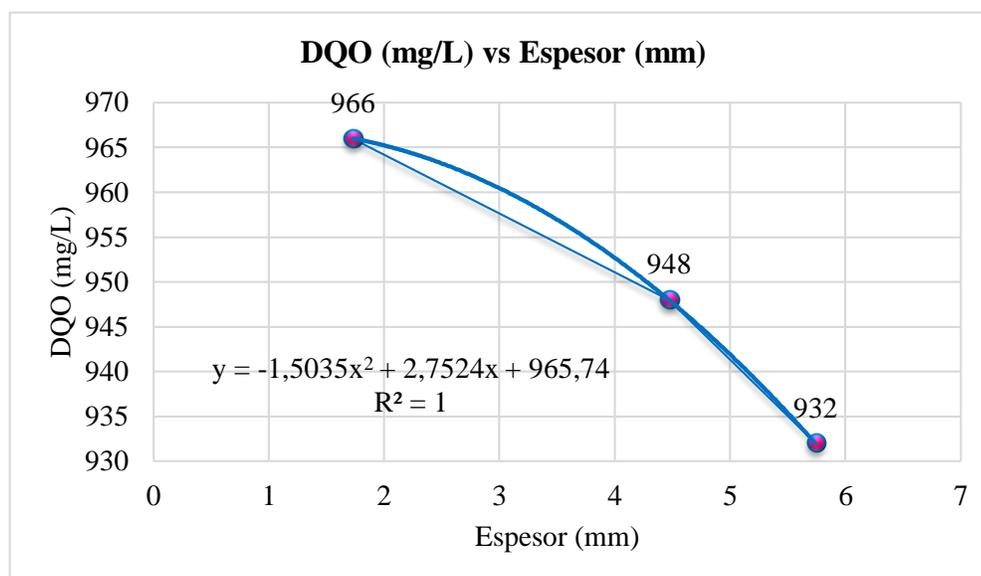
*Figura 37. Relación entre espesor y pH*

*Fuente: El autor*

Después del proceso de filtración, utilizando el filtro 1,2 y 3 no existió variación de los valores de pH, manteniéndose así un valor de 8,20.

#### **4.2.1.2 Evaluación de DQO**

La figura 38 indica que el parámetro correspondiente a DQO presenta una disminución de acuerdo con el espesor del filtro.



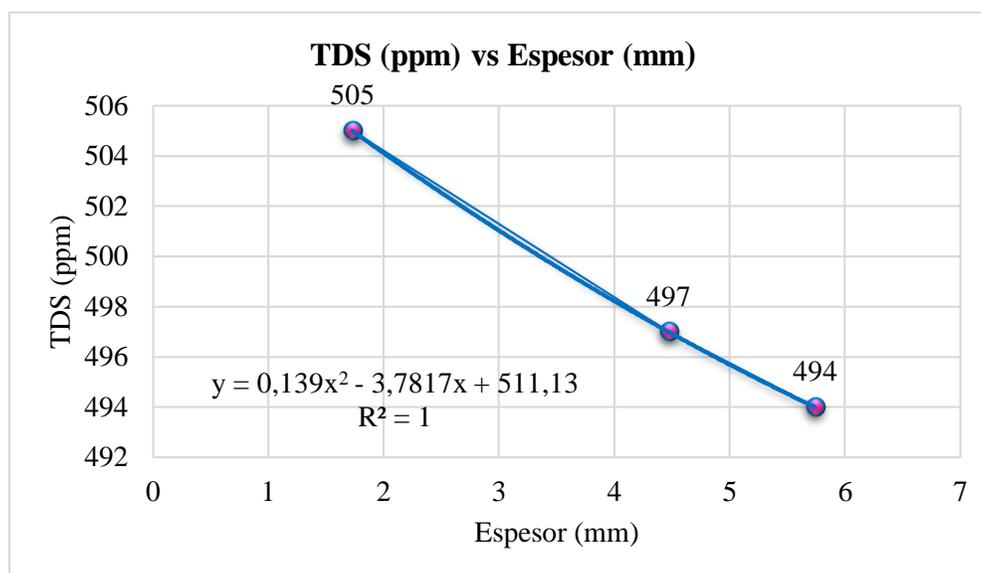
**Figura 38.** Relación entre DQO y espesor

**Fuente:** El autor

Se puede observar que el primer punto corresponde al DQO obtenido después de filtrar el agua residual empleando el filtro de 243,8 g/m<sup>2</sup> el valor de DQO disminuyó a 966 mg/L, haciendo uso del filtro de 652,24 g/m<sup>2</sup> se obtuvo una DQO de 948 mg/L, finalmente, utilizando el filtro de 931,33g/m<sup>2</sup> se logró un valor de 933 mg/L en DQO. Con lo antes expuesto, se puede concluir que existe una relación inversamente proporcional respecto a DQO y espesor, puesto a que se observa un aumento en el gramaje del filtro y una disminución en DQO.

#### 4.2.1.3 Evaluación de TDS

En la figura 36 se establece la relación existente al espesor del filtro y los TDS, correspondientes a los valores de agua residual filtrada.



**Figura 39.** Relación entre espesor y TDS

**Fuente:** El autor

En la figura, se puede observar que utilizando el filtro 1 (FE1) se logró una reducción de 17 ppm, mediante el uso del filtro 2 (FE2) se logró una reducción de 25 ppm y, finalmente, empleando el tercer filtro (FE3) se logró una reducción de 28 ppm. A su vez, la gráfica muestra una tendencia polinomial, lo que indica que, si existe un aumento de espesor del filtro, la reducción de TDS será cada vez menor. Se concluye que existe una reducción de ppm directamente proporcional, es decir, entre mayor sea el espesor del filtro, existirá una mayor reducción de TDS.

Los valores correspondientes a la media y el coeficiente de variación se encuentran expresados en porcentaje, y se representan en la siguiente tabla 10.

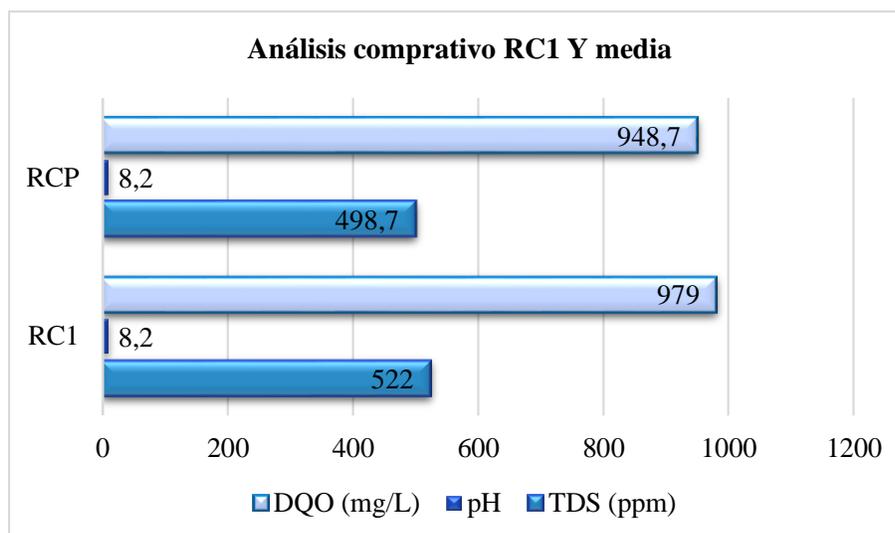
**Tabla 10.**

*Media y coeficiente de variación, de parámetros de caracterización de agua residual filtrada.*

	<b>Parámetros</b>		
	<b>pH</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>TDS (ppm)</b>
<b>Media estadística</b>			
<b>Media</b>	8,20	948,67	498,67
<b>Coeficiente de Variación %</b>	0,00	1,79	1,14

**Fuente:** El autor

De acuerdo con el porcentaje obtenido en el coeficiente de variación, se determina que no existe una elevada dispersión respecto a los parámetros correspondientes a pH, DQO y TDS.



**Figura 40.** Análisis comparativo RC1 Y media

**Fuente:** El autor

En la figura, se visualiza de mejor manera la diferencia existente entre los parámetros de caracterización del agua residual sin filtrar respecto a la media (RCP). Se distingue que existe una variación con relación a los parámetros correspondientes a la media, los cuales son menores a comparación de los parámetros correspondientes al agua residual sin filtrar. El valor de pH no varía antes y después de la filtración, en tanto que el valor promedio correspondiente a DQO es de 948,7 mg/L, mientras que el valor inicial fue de 979 mg/L, con lo que se determina que hay una reducción en el parámetro, de igual forma en TDS, el valor inicial fue de 522 ppm, en tanto que el valor promedio fue de 498,7 ppm, dando como resultado que existe una variación.

#### 4.2.2 *Análisis comparativo de parámetros de calidad del agua respecto a la normativa legal de descarga al alcantarillado*

Para el análisis se empleó como referencia la Norma de Calidad Ambiental, Acuerdo Ministerial 097-A, la cual indica los parámetros que debe cumplir con los límites máximos permisibles para que el agua pueda ser descargada al alcantarillado. Se realizó un análisis comparativo entre los límites máximos permisibles establecidos en la norma y los datos obtenidos después del proceso de filtración, empleando los filtros de diferentes espesores.

**Tabla 11.**

*Valores Límite Máximo permitido*

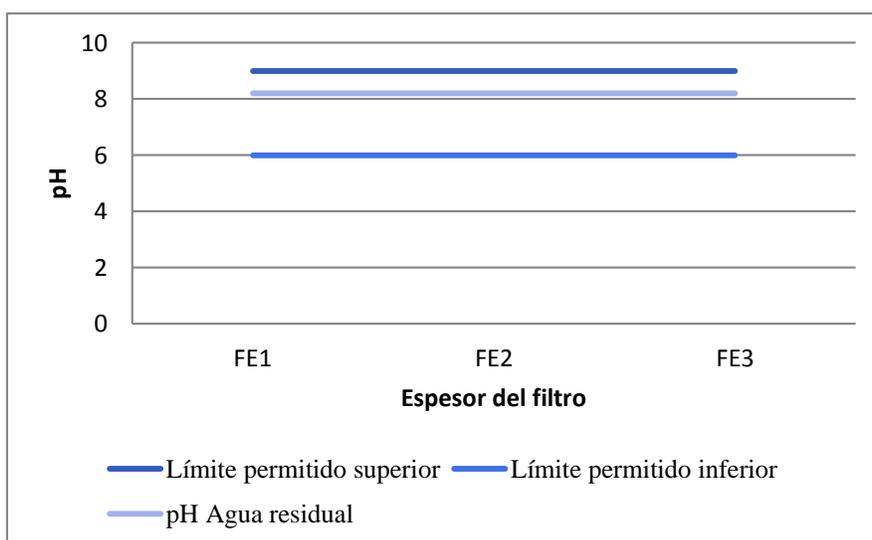
<b>Parámetro</b>	<b>pH</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>TDS (ppm)</b>
<b>Valor Límite Max. Permitido</b>	6-9	500	1600

**Fuente:** Adaptado de (Ministerio del Ambiente, 2015)

En la tabla 11 se indican los valores establecidos como límites máximos permitidos, acorde al Ministerio del Ambiente, en donde el pH debe encontrarse en un rango de 6 a 9, en tanto que el DQO debe cumplir como máximo 500 mg/L; finalmente, en TDS un máximo de 1600 ppm.

#### 4.2.2.1 Análisis comparativo de pH

Los valores obtenidos en el análisis correspondiente al parámetro de pH, es comparado con los límites máximos que establecen la norma ambiental, es decir, 500 mg/L, indicado en la figura 41.



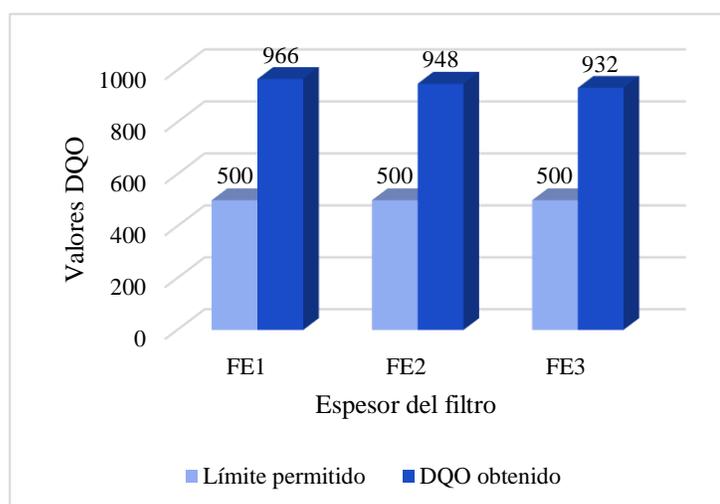
*Figura 41. pH agua residual filtrada*

*Fuente: El autor*

Según lo ilustrado en la figura, se puede identificar que, al momento de hacer una comparativa entre los valores de pH establecidos en la norma (6-9), el valor de pH obtenido mediante el proceso de filtración se encuentra dentro de los límites permisibles para la descarga al alcantarillado, puesto a que se mantuvo en un valor de 8,20.

#### 4.2.2.2 Análisis comparativo de DQO

Los valores correspondientes a DQO, obtenidos después del proceso de filtración, se comparan con el valor establecido en la norma ambiental, el cual es de 500 mg/L, indicado en la figura 42.



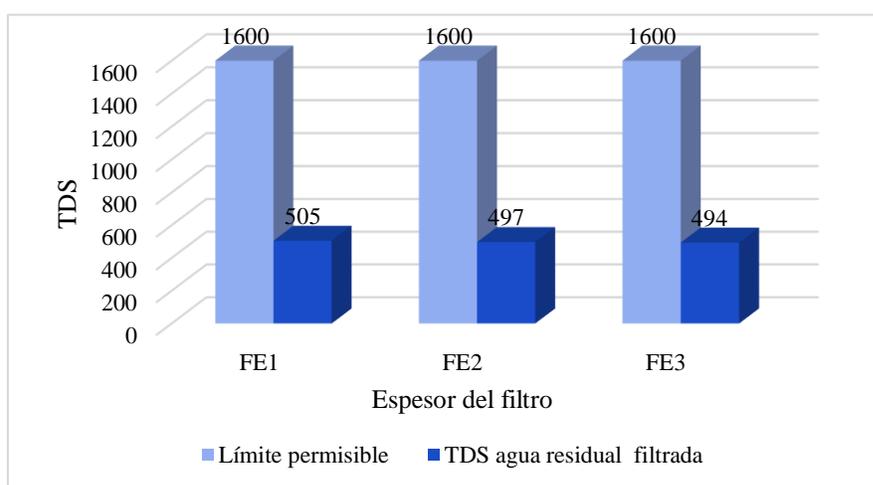
**Figura 42.** Análisis comparativo de DQO

**Fuente:** El autor

En la figura se puede apreciar que los valores de DQO correspondientes al agua residual filtrada, supera al valor establecido a los límites permisibles, el cual es de 500 mg/L, mientras que el agua residual después de procesos de filtración con los filtros EF1, EF2 y EF3, da como resultado valores de 966 mg/L, 948 mg/L y 932 mg/L, con lo que se puede concluir que el agua residual después de la filtración continúa siendo contaminante.

### 4.2.2.3 Análisis comparativo de TDS

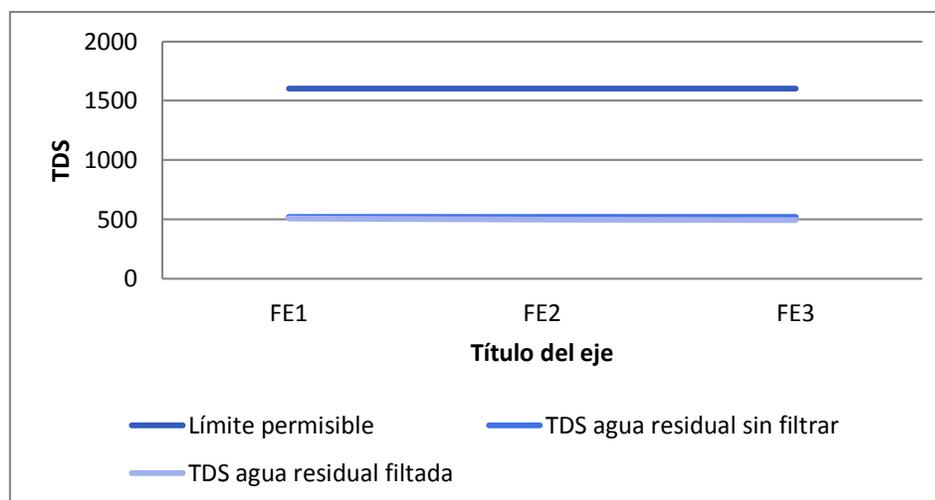
Los datos obtenidos en el parámetro de TDS después del proceso de filtración, se comparan con los establecidos en la norma ambiental, la cual estipula que el límite máximo permisible para TDS es de 1600 mg/L, tal como se indica en la figura 43.



**Figura 43.** Análisis comparativo entre el límite permisible de TDS y el agua filtrada

**Fuente:** El autor

La figura indica que los TDS existentes en el agua residual después de la filtración disminuyen, con lo que se obtiene valores de 505 ppm, 497 ppm y 494 ppm, empleando los filtros EF1, EF2 y EF3 respectivamente, con lo que se determina que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles, cabe recalcar que el agua residual se encontraba dentro de los límites permisibles antes de la filtración.



**Figura 44.** Análisis comparativo límites máximos permisibles y TDS en el agua residual filtrada y sin filtrar

**Fuente:** El autor

La línea de color azul corresponde a los valores establecidos como límites permisibles, en tanto que la línea roja corresponde a los TDS del agua residual sin filtrar, al hacer una comparativa con la línea verde correspondiente al agua residual filtrada, se establece que el agua residual sin filtrar y filtrada se encuentran dentro de los límites permisibles, sin embargo, existe una disminución de TDS del agua residual filtrada a comparación con el agua residual sin filtrar.

#### 4.2.3 Eficiencia del filtro

Mediante la tabla 12, se pretende conocer la eficiencia que tiene el filtro.

**Tabla 12.***Porcentaje de eficiencia, pH*

<b>pH</b>	<b>% de eficiencia</b>
7,00	100
7,12	90
7,24	80
7,36	70
7,48	60
7,60	50
7,72	40
7,84	30
7,96	20
8,08	10
8,20	0

**Fuente:** El autor

Para el valor del pH se realiza una tabla en donde, llegar a un pH de 7 representa que el filtro tiene un 100% de eficiencia; sin embargo, si el pH se conserva en 8,2, representa un 0% de eficiencia puesto que no existiría ninguna variación. De acuerdo con la tabla antes mencionada, se puede establecer que no existió ningún tipo de variación respecto al pH empleando el filtro, por lo que se concluye que el filtro, independientemente del espesor, no es funcional para que existan cambios en el pH del agua residual.

Respecto a los valores de DQO, se realizó una tabla basada en la cantidad de DQO y el porcentaje correspondiente a la eficiencia del filtro, tal como se indica en la tabla 13.

**Tabla 13.***Porcentaje de eficiencia, DQO*

<b>DQO</b>	<b>% de eficiencia</b>
979	100
881,1	90
783,2	80
685,3	70
587,4	60
489,5	50
391,6	40
293,7	30
195,8	20
97,9	10
0	0

**Fuente:** El autor

Acorde a la tabla se establece que, cuando existe una reducción de DQO, hasta llegar a la disminución del valor total obtenido en la caracterización (979), la eficiencia del filtro será 100%, en tanto que, si el valor de disminución es 0, no existiría variación en el parámetro, dando así una eficiencia del 0%. El valor máximo de reducción de DQO, empleando los diferentes filtros, es de 45 mg/L, por lo que se toma como referencia una efectividad de 10%; por otro lado, para conocer el porcentaje de efectividad de cada filtro, se indica a continuación la tabla 14.

**Tabla 14.***Porcentaje de eficiencia, DQO respecto al 10 %*

<b>DQO</b>	<b>% de eficiencia</b>
97,9	10
88,11	9
78,32	8
68,53	7
58,74	6
48,95	5
39,16	4
29,37	3
19,58	2
9,79	1
0	0

**Fuente:** El autor

Se toma como referencia el valor en el cual se encuentra la efectividad del filtro, el cual, según la tabla 13, es de 10%.

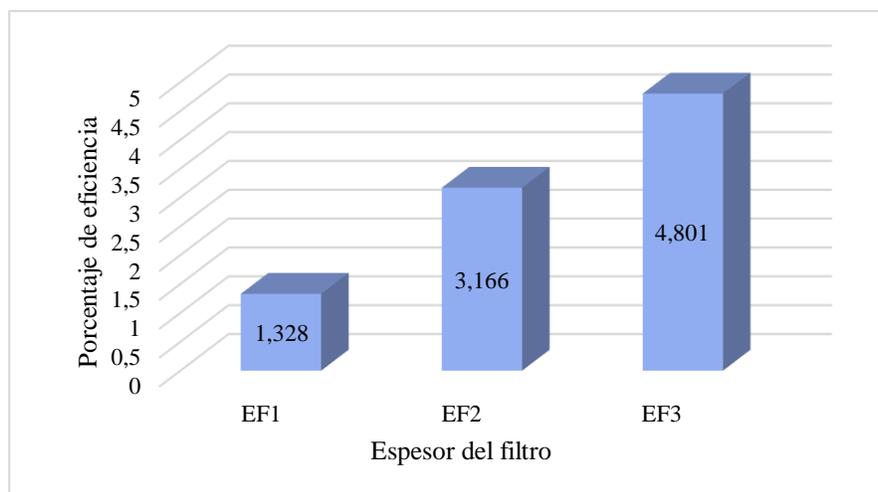
A partir de dicho valor, se realiza una tabla similar, pero empleando únicamente el valor correspondiente al rango, se realiza una relación porcentual para conocer el porcentaje exacto en el cual se ubica cada uno de los filtros utilizados, los cuales se detallan en la tabla 15.

**Tabla 15.***Porcentaje de reducción de DQO respecto al espesor*

	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>
<b>Valor inicial</b>	979	979	979
<b>Valor final</b>	966	948	932
<b>Reducción</b>	13	31	47
<b>% de eficiencia</b>	1,328	3,166	4,801

**Fuente:** El autor

Se detalla los valores iniciales obtenidos en la caracterización del agua residual sin filtrar, en donde el valor a DQO es de 979 mg/L, posterior al proceso de filtración, empleando los filtros de diferentes espesores, se logra una reducción de DQO diferente con cada uno de ellos. Empleando el filtro de 1,73 mm (EF1) se obtuvo una reducción de 13 mg/L, en tanto que, empleando el filtro de 4,47 mm (EF2), la reducción de DQO fue de 31mg/L, finalmente, con el filtro de 5,74 mm (EF3) se obtuvo una reducción de 47 mg/L. Una vez realizada la relación porcentual, se obtuvieron los valores exactos que corresponden a cada uno de los filtros como se muestra en la figura 45 a continuación:



**Figura 45.** Porcentaje de eficiencia del filtro

**Fuente:** El autor

Comparando los valores porcentuales obtenidos en los 3 filtros, se establece que, empleando el filtro 1 se obtuvo una eficiencia en reducción de DQO correspondiente al 1,32 %, en tanto que con el filtro 2 la eficiencia fue de 3,16%, mientras que, con el filtro 3 se obtuvo una eficiencia de 4,80 %. Con los datos obtenidos se concluye que, el filtro de espesor 5,74 mm, es decir el filtro 3, elimina una mayor cantidad de DQO, por lo que presenta una mayor eficiencia a comparación del filtro 1 y 2, con una eficiencia de 4,80 %.

Finalmente, para conocer la efectividad de los filtros, para el parámetro de TDS, se realizó la tabla 16, que es similar a las anteriores.

**Tabla 16.***Porcentaje de eficiencia, TDS*

<b>TDS</b>	<b>% de eficiencia</b>
522	100
469,8	90
417,6	80
365,4	70
313,2	60
261	50
208,8	40
156,6	30
104,4	20
52,2	10
0	0

**Fuente:** El autor

La tabla 17 establece que, si existe una reducción total de TDS, la eficiencia del filtro será de un 100%, en tanto que, si no existe una variación en el parámetro, es decir, una eliminación de 0 TDS, se considera que la eficiencia del filtro es de 0%.

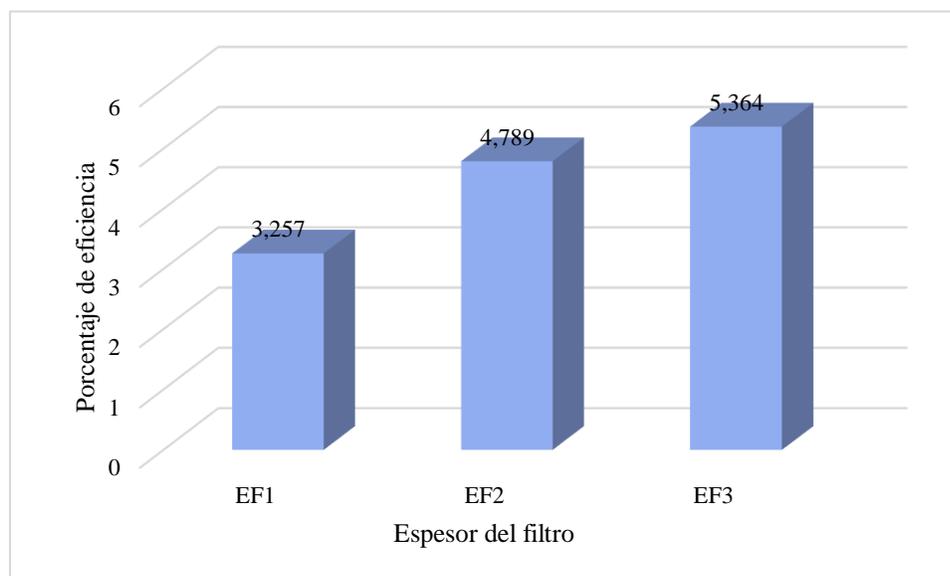
**Tabla 17.**

*Porcentaje de eficiencia TDS, respecto al 10 %*

	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>
<b>Valor inicial</b>	522	522	522
<b>Valor final</b>	505	497	494
<b>Reducción</b>	17	25	28
<b>% de eficiencia</b>	3,257	4,789	5,364

**Fuente:** El autor

Los valores establecidos en la tabla corresponden los valores obtenidos a través de la caracterización de TDS en el agua residual filtrada y sin filtrar, el valor inicial corresponde a 522, después de la filtración se obtienen valores de 505, 497 y 494, correspondientes al uso del filtro 1,2y 3, respectivamente. Se realizó una resta del valor inicial entre el valor obtenido después de la filtración, con lo que se establece el valor de reducción de ppm, mismo que al realizarse una relación porcentual, muestra el porcentaje de eficiencia del filtro, para lo cual se emplea un gráfico de barras:



**Figura 46.** *Porcentaje de eficiencia TDS, respecto al 10 %*

**Fuente:** *El autor*

Los valores existentes en la figura, corresponde al porcentaje de eficiencia del filtro, en donde se establece que el filtro EF1, tuvo una eficiencia de 3,25 %; mientras que el filtro EF2 tuvo una eficiencia de 4,78 %, finalmente, el filtro EF3 tuvo una eficiencia de 5,36 % con lo que se puede establecer que, con el filtro con mayor espesor (EF3) se logró una mayor eliminación de TDS a comparación del filtro 1 y 2.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Mediante la elaboración de un filtro a base de plumas de pollo para el tratamiento de aguas residuales textiles a escala de laboratorio que permite la remoción de colorantes resultante del problema de procesos de tintorería de fibras sintéticas Se realizaron pruebas de filtración utilizando los filtros realizados de diferentes espesores con lo que se obtuvieron datos que fueron analizados estadísticamente; a continuación, se señala las conclusiones obtenidas.

1. Para la realización de pruebas de filtración fue necesario elaborar los filtros a partir de plumas de pollos, los cuales fueron diseñados empleando diferentes cantidades (gramos) de plumas tratadas con sosa cáustica y detergente, con lo que se obtuvieron diferentes gramajes, para el primer filtro EF1 se emplearon 20 gramos de plumas, obteniendo así un gramaje de  $243,87 \text{ g/m}^2$ , en tanto que para la elaboración del filtro EF2 se utilizó un total de 40 gramos, dando como resultado un filtro de  $652,24 \text{ g/m}^2$ , el filtro EF3 se realizó con 60 gramos y se obtuvo gramaje de  $931,16 \text{ g/m}^2$ ; la diferencia de espesor y gramaje fueron utilizados para conocer la variación en los parámetros pH, DQO y TDS, para posteriormente realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos.
2. Mediante la caracterización del agua, se logró conocer que el agua residual sin filtrar, obtenida del proceso de tintorería de fibras de poliéster presentaba un pH de 8,2, DQO de 979 y un total las 522 TDS. A través de los resultados obtenidos se logró realizar un análisis comparativo entre los valores obtenidos antes y después de proceso de filtración.
3. Para la filtración se utilizaron filtros realizados a partir de plumas de pollo de diferentes espesores, en donde el filtro EF1 posee un espesor de 1,73 mm, el filtro EF2 espesor de

4,47 mm y el filtro EF3 de 5,74 mm; con cada uno de ellos se obtuvieron diferentes resultados respecto a los parámetros de calidad del agua pH, DQO y TSD después de la filtración, para lo cual se emplearon las normas NTE INEN ISO 10523 para la determinación de pH, para DQO se empleó la norma Métodos Estándar Ed.23.2017 2540, mientras que para la determinación de TDS se utilizó la norma SM 2510 B.

4. La filtración se realizó en un área de  $72,38 \text{ cm}^2$  en donde se pudo determinar que cada filtro tiene una diferente capacidad de filtración, el filtro de espesor 1 llega a su punto de saturación después de haber filtrado 1.5 litros de agua, en tanto que el filtro 2 llega a su punto de saturación después de filtrar 2 litros de agua, mientras que el filtro 3, llega a su punto de saturación después de haber filtrado 2,75 litros de agua.
5. Una vez obtenidos los parámetros de calidad del agua, se analizaron los resultados con respecto al filtro, en donde se pudo concluir que existió una variación del 0% respecto al pH, puesto que el valor del agua residual sin filtrar y filtrada se mantiene en un pH de 8,20, con lo que se determina que el pH no se ve afectado después de procesos de filtración independientemente del espesor del filtro.
6. Respecto a los valores correspondientes a DQO, se obtuvo que, empleando el filtro EF1 existió una reducción de 13 mg/L, mediante el filtro EF2 una reducción de 31 mg/L y con el filtro EF3 una reducción de 47 mg/L, determinando así que, existe una relación inversamente proporcional entre el espesor del filtro y DQO, en donde el filtro EF3 presenta un 4,80 % de eficiencia en la disminución del parámetro, por lo tanto, cuando existe el aumento de gramaje del filtro existirá una reducción en el parámetro, cabe recalcar que el límite máximo permisible para DQO, acorde a la Normativa Ambiental es de 500 mg/L.

7. Por otra parte, respecto a TDS, existe una relación directamente proporcional entre el filtro y la reducción de TDS, en donde se obtuvo que empleando el filtro EF1 se redujo 17 ppm, con el filtro EF2 25 ppm y empleando el filtro EF3 28 ppm, en donde el filtro EF3 presenta una mayor reducción de ppm presentando una eficiencia de 5,36%, con lo que se concluye que cuando mayor sea el espesor del filtro existirá una mayor reducción en el parámetro, en donde el límite máximo permisible es de 1600 ppm.
8. Para conocer la eficiencia del filtro se realizó un análisis comparativo respecto a los parámetros de calidad del agua, según la normativa establecida en la Norma de Calidad Ambiental en el Acuerdo Ministerial 097- A, el cual indica los límites máximos permisibles para que el agua pueda ser descargada directamente al alcantarillado, se establece que, para pH, el límite máximo permisible es de 6-9, DQO de 500 mg/L y 1600 ppm correspondiente a TDS. El análisis logró establecer que después del proceso de filtración el pH no obtuvo cambios, pero se mantiene dentro de los límites máximos permitidos establecidos en la norma; mientras que, pese a que en DQO se obtuvo una reducción, este no ingresa dentro de los parámetros permitidos por la norma puesto que presenta un total de 932 mg/L, en tanto que en TDS existió reducción, sin embargo, cabe mencionar que el parámetro se encontraba dentro del rango antes de la filtración.
9. Finalmente, se realizaron tablas que muestran la eficiencia de los filtros para cada parámetro utilizando diferentes porcentajes en donde se obtuvo que la eficiencia del filtro para variaciones en el pH es del 0% puesto que el valor obtenido antes y después de la filtración utilizando los diferentes filtros no cambió, para DQO se determinó que, utilizando el primer filtro se redujo una cantidad de 13 mg/L, en tanto que utilizando el filtro 2 , se redujo 32 mg/L y, finalmente, empleando el filtro de espesor 3, se obtuvo una

reducción de 47 mg/L. Realizando una relación porcentual, se obtiene el filtro 1 posee una eficiencia del 1,3% , del filtro 2 de 3,16% y finalmente del filtro 3 de 4,8% para el parámetro de DQO. Para TDS se establecen diferentes valores, en dónde se obtuvo que, utilizando el filtro 1 existe una reducción de 17 ppm, mediante el filtro 2 ,25 ppm y finalmente utilizando el filtro 3 se obtiene una reducción de 28 ppm dando como resultado para el filtro 1 una eficiencia de 3,25%, el filtro 2 una eficiencia de 4,78% y, por último, el filtro 3 una eficiencia de 5,36% para la reducción de TDS.

10. Con lo antes expuesto se puede determinar que los parámetros de calidad del agua, DQO y TDS varían acordes al espesor del filtro utilizado en donde mientras mayor sea el espesor del filtro también será mayor la efectividad de este.

## **5.2 Recomendaciones**

1. Es importante respetar los parámetros de dosificación de auxiliares, así como el tiempo y temperatura, puesto que un exceso de temperatura, tiempo o auxiliares, pueden causar la degradación de las plumas.
2. Para una mayor precisión en los resultados correspondientes a la caracterización de aguas residuales, es importante cuidar los lineamientos establecidos acorde las normativas, para el transporte de aguas, al igual que el uso correcto y limpieza de los equipos utilizados.
3. Para obtener una mayor eficiencia del filtro es necesario realizar procesos de coagulación-floculación, con la finalidad de aumentar el tamaño de las partículas y con ello disminuir una mayor cantidad de sólidos, logrando así la reducción de DQO Y TDS
4. Para la filtración, se recomienda emplear un empaque, con la finalidad de que no existan fugas, y con ello se permita el paso de agua sin filtrar, generando así la obtención de resultados erróneos.

## 5.3 Anexos

 CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
AREA QUÍMICA

**INFORME DE ENSAYO No.: 46667-01-06-07-22-Q**

---

**Datos del Cliente**

**Cliente:** DAYSI VILATUNA  
**Representante:** Daysi Vilatuna  
**Dirección:** Cutugagua / San José  
**Teléfono:** 0959571134

---

**Datos del ítem de Ensayo**

**Identificación de la Muestra:** AGUA RESIDUAL PROCESO DE TINTORERÍA MUESTRA 1  
**Descripción de la Muestra:** Líquido turbio  
**Contenido declarado:** 3000 ml  
**Conservación de la Muestra:** Ambiente

**No. Lote o código:** ND  
**Fecha de elaboración:** ND  
**Fecha de caducidad:** ND

---

**Datos de Muestreo, Recepción y Análisis**

**Responsable toma de muestra:** Por el cliente  
**Responsable muestreo:** N.A.  
**Referencia:** Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.  
**Parámetros acreditados muestreo:** N.A.

**Fecha toma de muestra:** ND  
**Fecha de recepción:** 2022-07-06  
**Fecha de ensayo:** 2022-07-08  
**Fecha de reporte:** 2022-07-11

---

**Información relevante proporcionada por el cliente**

1. Información proporcionada por el cliente: NA  
2. Requisitos de recepción que afectan al ensayo: NA

---

**Resultados analíticos:** Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE PERMITIDO
Demanda Química Oxígeno (DQO)	POE: 7.2.37 SM 5220 D	mg/L	979 ± 14	Máx. 500 mg/L

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001  
Los resultados marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

---

**Observaciones:**

1. **Resultado:** Expresado como a) R; donde R corresponde al resultado ó b) R +/- U; donde R corresponde al resultado y U a la incertidumbre con K=2, 95% de confianza  
2. **Métodos:** POE: Procedimiento Interno  
SM Standard Method APHA, Ed 23  
3. **Especificaciones:** Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público. TULSMA  
4. **Responsables de análisis:** CA

---

**Notas:**

ND: No declara NA: No aplica

NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.  
NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis  
NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis  
NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.  
NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.  
NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique  
NOTA 7: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

**Q.F Andrea Cumba A.**  
**CENTROCESAL Cia. Ltda.**  
RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN

  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
fref.:POE:7.8.1 Rev.06 Anexo 1

---

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
Teléfono: (0993) 02 500333 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872  
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
QUITO - ECUADOR

*Anexo I. Análisis de agua residual sin filtrar, RCI**Fuente: El autor*



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES**  
CENTROCESAL Cía. Ltda.  
**AREA QUÍMICA**

**INFORME DE ENSAYO No.: 46667-02-06-07-22-Q**

**Datos del Cliente**

**Cliente:** DAYSI VILATUNA  
**Representante:** Daysi Vilatuña  
**Dirección:** Cutuglagua / San José  
**Teléfono:** 0959571134

**Datos del ítem de Ensayo**

**Identificación de la Muestra:** AGUA RESIDUAL PROCESO DE TINTORERIA MUESTRA 2  
**Descripción de la Muestra:** Líquido turbio  
**Contenido declarado:** 3000 ml  
**Conservación de la Muestra:** Ambiente

**No. Lote o código:** ND  
**Fecha de elaboración:** ND  
**Fecha de caducidad:** ND

**Datos de Muestreo, Recepción y Análisis**

**Responsable toma de muestra:** Por el cliente  
**Responsable muestreo:** N.A.  
**Referencia:** Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.  
**Parámetros acreditados muestreo:** N.A.

**Fecha toma de muestra:** ND  
**Fecha de recepción:** 2022-07-06  
**Fecha de ensayo:** 2022-07-08  
**Fecha de reporte:** 2022-07-11

**Información relevante proporcionada por el cliente**

1. Información proporcionada por el cliente: NA
2. Requisitos de recepción que afectan al ensayo: NA

**Resultados analíticos:**

Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE PERMITIDO
Demanda Química Oxígeno (DQO)	POE: 7.2.37 SM 5220 D	mg/L	966 ± 14	Máx. 500 mg/L

**Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001**  
**Los resultados marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE**

**Observaciones:**

1. **Resultado:** Expresado como a) R; donde R corresponde al resultado ó b) R +/- U; donde R corresponde al resultado y U a la incertidumbre con K=2, 95% de confianza
2. **Métodos:** POE: Procedimiento interno  
SM Standard Method APHA, Ed 23
3. **Especificaciones:** Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público. TULSMA
4. **Responsables de análisis:** CA

**Notas:**

**ND: No declara NA: No aplica**

- NOTA 1:** Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2:** Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
- NOTA 3:** Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda, se responsabiliza únicamente de los análisis
- NOTA 4:** La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5:** El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6:** Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
- NOTA 7:** Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

**Q.F Andrea Cumba A.**  
**CENTROCESAL Cía. Ltda.**

RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN



CENTROCESAL Cía. Ltda.

f.ref.:POE:7.8.1 Rev.:06 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
Telfs: (+593) 02 5003838 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872  
e-mail: [info@centrocesal.com](mailto:info@centrocesal.com) / [www.centrocesal.com](http://www.centrocesal.com)  
QUITO - ECUADOR

*Anexo 2. Análisis de agua residual filtrada, RC2*

*Fuente: El autor*



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES**  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
AREA QUÍMICA

**INFORME DE ENSAYO No.: 46667-03-06-07-22-Q**

Datos del Cliente			
Cliente:	DAYSÍ VILATUNA		
Representante:	Daisy Vilatuña		
Dirección:	Cutuglagua / San José		
Teléfono:	0959571134		
Datos del ítem de Ensayo			
Identificación de la Muestra:	AGUA RESIDUAL PROCESO DE TINTORERÍA MUESTRA 3		
Descripción de la Muestra:	Líquido turbio		
Contenido declarado:	3000 ml	No. Lote o código:	ND
Conservación de la Muestra:	Ambiente	Fecha de elaboración:	ND
		Fecha de caducidad:	ND
Datos de Muestreo, Recepción y Análisis			
Responsable toma de muestra:	Por el cliente	Fecha toma de muestra:	ND
Responsable muestreo:	N.A.	Fecha de recepción:	2022-07-06
Referencia:	Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.	Fecha de ensayo:	2022-07-08
		Fecha de reporte:	2022-07-11
Parámetros acreditados muestreo:	N.A.		

1. Información proporcionada por el cliente: NA

2. Requisitos de recepción que afectan al ensayo: NA

Resultados analíticos:

Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE PERMITIDO
Demanda Química Oxígeno (DQO)	POE: 7.2.37 SM 5220 D	mg/L	948 ± 13	Máx. 500 mg/L

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001  
Los resultados marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Observaciones:	
1. Resultado:	Expresado como a) R; donde R corresponde al resultado ó b) R +/- U; donde R corresponde al resultado y U a la incertidumbre con K=2, 95% de confianza
2. Métodos:	POE: Procedimiento interno SM Standard Method APHA, Ed 23
3. Especificaciones:	Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público. TULSMA
4. Responsables de análisis:	CA

Notas:

ND: No declara NA: No aplica

- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda, se responsabiliza únicamente de los análisis
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
- NOTA 7: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

**Q.F Andrea Cumba A.**  
**CENTROCESAL Cia. Ltda.**

RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN



CENTROCESAL Cia. Ltda.

fref.:POE:7.8.1 Rev.:06 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
Telfs: (+593) 02 5003838 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872  
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
QUITO - ECUADOR

### Anexo 3. Análisis de agua residual filtrada, RC3

**Fuente: El autor**



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 46667-04-06-07-22-Q

Datos del Cliente

Cliente: DAYSI VILATUNA  
Representante: Daysi Vilatuña  
Dirección: Cutuglagua / San José  
Teléfono: 0959571134

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: AGUA RESIDUAL PROCESO DE TINTORERÍA MUESTRA 4  
Descripción de la Muestra: Líquido turbio  
Contenido declarado: 3000 ml  
Conservación de la Muestra: Ambiente  
No. Lote o código: ND  
Fecha de elaboración: ND  
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente  
Fecha toma de muestra: ND  
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.  
Fecha de recepción: 2022-07-06  
Fecha de ensayo: 2022-07-08  
Parámetros acreditados muestreo: N.A.  
Fecha de reporte: 2022-07-11

Información relevante proporcionada por el cliente

1. Información proporcionada por el cliente: NA
2. Requisitos de recepción que afectan al ensayo: NA

Resultados analíticos:

Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE PERMITIDO
Demanda Química Oxígeno (DQO)	POE: 7.2.37 SM 5220 D	mg/L	932 ± 13	Máx. 500 mg/L

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001  
Los resultados marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Observaciones:

1. Resultado: Expresado como a) R; donde R corresponde al resultado ó b) R +/- U; donde R corresponde al resultado y U a la incertidumbre con K=2, 95% de confianza
2. Métodos: POE: Procedimiento Interno  
SM Standard Method APHA, Ed 23
3. Especificaciones: Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público. TULSMA
4. Responsables de análisis: CA

Notas:

ND: No declara NA: No aplica

- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
- NOTA 7: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

Q.F Andrea Cumba A.  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN



ref.:POE 7.8.1 Rev.:06 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
Telfs: (+593) 02 5003838 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872  
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
QUITO - ECUADOR

*Anexo 4. Análisis de agua residual filtrada, RC4*

*Fuente: El autor*

## 5.4 Bibliografía

Administrador. (2015). *Mucho más que plumas*.

Aqua, F. (2019, October 8). *Revista - Aqua free ES/es*. <https://www.aqua-free.com/es/revista/un-vistazo-sobre-los-diferentes-tipos-de-filtracion>

BARantes, D. (2020). (PDF) *Filtros rápidos, Sistemas de filtración para agua potable* / Daniela Barrantes - Academia.edu. [https://www.academia.edu/43767711/Filtros\\_r%C3%A1pidos\\_Sistemas\\_de\\_filtraci%C3%B3n\\_para\\_agua\\_potable](https://www.academia.edu/43767711/Filtros_r%C3%A1pidos_Sistemas_de_filtraci%C3%B3n_para_agua_potable)

Borovich, A. (2015, October). *Manual de No Tejidos - [PDF Document]*. <https://fdocuments.in/document/manual-de-no-tejidos-5627bd0a8b835.html>

Carbotecnia, M. (2021). *¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción?* - Carbotecnia. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/#bp-toc-top>

Cedeño, E. (2003). *ANÁLISIS ELEMENTAL Y MINERALÓGICO DEL PRECIPITADO MINERAL Y RESIDUO DE EVAPORACIÓN DEL MANANTIAL TURUMO, ESTADO MIRANDA, VENEZUELA*. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-00872003000100002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872003000100002)

Cortazar, A., & Coronel, C. (2007). *Contaminación generada por colorantes de la industria textil*. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>

- Diana López. (2018, July 28). *Viabilidad de las plumas de aves de corral aplicado en los textiles no tejidos – sinergiatextil*.  
<https://sinergiatextil.wordpress.com/2018/07/28/viabilidad-de-las-plumas-de-aves-de-corral-aplicado-en-los-textiles-no-tejidos/>
- Esparza, D. (2016). *UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES “ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS” Realizado por.*
- Estrada, A. (2019). Diseñar para divergencias y convergencias. Enfoques del DCG para los procesos de lectura por placer en la Red. *Exploraciones, Intercambios y Relaciones Entre El Diseño y La Tecnología*, 57–79.  
<https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- filtracion4. (2019). *Geo,Cite*, 1–3. <http://www.geocities.ws/edrochac/sanitaria/filtracion4.pdf>
- Florida Rofner, N. (2019). Plumaz: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 225–237.  
<https://doi.org/10.18271/RIA.2019.480>
- Gómez Jimena. (2018, March 26). *Plumas de las aves, características, estructura y tipos - Aves y pájaros*. <https://aves.animalesbiologia.com/temas/plumas-de-las-aves>
- Google Maps. (2022). *Estadio Universidad Técnica del Norte - Google Maps*.  
<https://www.google.com/maps/place/Estadio+Universidad+T%C3%A9cnica+del+Norte>

e/@0.3791785,-

78.1221017,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0xea67a4160fd90f41!8m2!3d0.3791785!4d-

78.1221017

Green, F. (2022). *Glosario: Densidad.*

<https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/densidad.htm>

Hernández, A. S., Arenillas, A., Calvo, E. G., & Menéndez, J. A. (2017). *XEROGELAS DE CARBONO COMPETITIVOS Y A MEDIDA DE LA APLICACIÓN.*

Hilmi, N. (2016, May 12). *Method of chicken feather adsorbent - YouTube.*

<https://www.youtube.com/watch?v=xHlwb59JyJg>

INEN. (2012). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.*

Irezabal, L. (2019). *FILTRACIÓN (pag web).*

Jaya, E. (n.d.). *UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL. 2017.*

Lehigh, H. (2017). *Hoja de Datos de Seguridad Arena y Grava Sección 1. Identificación.*

Lenntech. (2019). *pH y alcalinidad.* <https://www.lenntech.es/ph-y-alkalinidad.htm>

Lumpkin, G. (2017, September). *Downflow Filtration Technology Keeps Contaminants at Bay | WaterWorld.* <https://www.waterworld.com/home/article/16197321/downflow-filtration-technology-keeps-contaminants-at-bay>

Martinez, L. (n.d.). *¿Plumas de pollo para limpiar el agua de metales pesados? | iAgua.*

Retrieved April 25, 2022, from  
<https://www.iagua.es/noticias/mexico/14/07/17/%C2%BFplumas-de-pollo-para-limpiar-el-agua-de-metales-pesados-52177>

Martinez, L. (2019). *Científica usa plumas de pollo para descontaminar el agua - Grupo*

*Milenio.* <https://www.milenio.com/cultura/cientifica-usa-plumas-de-pollo-para-descontaminar-el-agua>

Ministerio del Ambiente. (2015). *Documento\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\_0.*

Monroy Jacqueline. (2007, January 2). *Inmovilización de fibra de pluma de pollo en silica*

*gel para la adsorción de metales pesados en agua - Dialnet.*  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6485411>

Moreno-Piraján, J. C., Navarrete, L. F., Giraldo, L., & García, V. (2017). *Adsorción de Fenol*

*y 3-Cloro Fenol sobre Carbones Activados Adsorción de Fenol y 3-Cloro Fenol sobre Carbones Activados mediante Calorimetría de Inmersión.*

Muhammad, Z. (2022). *Muhammad Zubair — Chicken Feathers Derived Filter for Water*

*Purification - YouTube.* [https://www.youtube.com/watch?v=2\\_HzGalSISA](https://www.youtube.com/watch?v=2_HzGalSISA)

Navarro, A., & Benítez, H. (2016). *III. PLUMAS Y PLUMAJES.* Picacho-Ajusco 227; 14200

México, D.F.  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec\\_8.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec_8.htm)

- Okoya, A. A., Ochor, N. O., Akinyele, A. B., & Olaiya, O. O. (2020). The Use of Chicken Feather Waste as an Adsorbent for Crude Oil Clean Up from Polluted Water. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 43–53.  
<https://doi.org/10.9734/JAERI/2020/V21I330136>
- Orellana, J. (2020). *Tratamiento de aguas*.  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_06\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf)
- Osmar, c. (2020). *arena-silica*.
- Otero, N. (2019). *Filtración de aguas residuales para reutilización*.
- Patel, M. (2016). (PDF) *TECNOLOGÍA NO TEJIDA Para tejidos no convencionales* / Pedro He - Academia.edu.  
[https://www.academia.edu/8914153/NONWOVEN\\_TECHNOLOGY\\_For\\_Unconventional\\_fabrics](https://www.academia.edu/8914153/NONWOVEN_TECHNOLOGY_For_Unconventional_fabrics)
- Peiro, S. (2018, June 24). *Tipos de filtración: Profundidad y Superficie* | BLOG | Peiro, S.A.  
<https://peiro.com/blog/filtracion/tipos-de-filtracion/>
- Perez, F. (2016). *Capítulo 1. NECESIDADES DE AGUA ABASTECIMIENTO DE AGUAS*.
- Propiedades De Las Nanofibras De, E. Y., Elorri, L., & del Río, D. (2017). *David Sebastián del Río Tesis Doctoral*. <http://zaguan.unizar.es>
- Rodriguez, C. (2007). *DEMANDA QUÌMICA DE OXÌGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÌA*.

- Rodríguez, L. (2018). *El Blog de Filtración - EL Blog de Filtración - Parámetros importantes en Filtración de Fluídos*. <https://www.elblogdefiltracion.com/index.php/parametros-importantes-en-filtracion-de-fluidos>
- Ronie, R. (2017). *US10821384B2 - Medio de filtro de pluma de plumón - Patentes de Google*. <https://patents.google.com/patent/US10821384B2/en>
- Salinas, V. (n.d.). *CAPITULO I. EL CARBÓN ACTIVADO Y SUS PROPIEDADES*.
- Sánchez, C. (2015). *FT-TER-006 INTERCAMBIO IÓNICO SERIE: TRATAMIENTOS TERCARIOS*.
- Sec, E. (2018). *PERFIL DE MERCADO DE LA BENTONITA*.
- Sembrados, V. (2014, November 3). *TIPOS DE PLUMAS EN LAS AVES*. <http://entrepinosysebrados.blogspot.com/2014/11/tipos-de-plumas-en-las-aves.html>
- Senar, J. (2014, January). (PDF) *Mucho más que plumas*. [https://www.researchgate.net/publication/235736928\\_Mucho\\_mas\\_que\\_plumas](https://www.researchgate.net/publication/235736928_Mucho_mas_que_plumas)
- Silvera, A. (2004). *Revista Facultad de Ingeniería. Revista Facultad de Ingeniería, 31, 73–83*.
- Tam, K. (2018). *Decontaminate your water with... chicken feathers | Home*. <https://www.ualberta.ca/energy-systems/energy-in-action/posts/18-05-08.html>
- Tesfaye, T., Sithole, B., & Ramjugernath, D. (2018a). Valorisation of chicken feather barbs: Utilisation in yarn production and technical textile applications. *Sustainable Chemistry and Pharmacy, 8*(March), 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.02.002>

- Tesfaye, T., Sithole, B., & Ramjugernath, D. (2018b). Valorisation of Waste Chicken Feathers: Green Oil Sorbent. *International Journal of Chemical Sciences*, 16(3), 1–13. <https://doi.org/10.21767/0972-768X.1000282>
- Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chunilall, V. (2017). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of physical properties and morphological structure. *Journal of Cleaner Production*, 149, 349–365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.112>
- Torres, A. (2013). *Arena El filtro de lento: manual para el armado, instalación y monitoreo. programa de ingeniería civil*. 20–21.
- Torres, A. (2019). *ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES*.
- Troconis, A. (2018). *Tratamiento de Aguas Residuales mapa de la*. 9–10.
- Venegas, P. (2016). *El Caolín y sus aplicaciones industriales*. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html>
- Verma, N., & Singh, A. K. (2013). Development of Biological Oxygen Demand Biosensor for Monitoring the Fermentation Industry Effluent. *Corporation ISRN Biotechnology*, 2013. <https://doi.org/10.5402/2013/236062>
- Xian, G. (2018). *Qué es la alúmina activada - Conocimiento - Zibo Xiangrun Environment Engineering Co., Ltd*. <http://m.es.aluminaadsorbent.com/info/what-is-activated-alumina-28349757.html>