



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DESARROLLO DE UNA FIBRA TEXTIL SOSTENIBLE A PARTIR
DE LA CASEÍNA DE LA LECHE MEDIANTE PROCESOS
FISICOQUÍMICOS.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

DALIZ NICOLLE LLANO GUALPA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DESARROLLO DE UNA FIBRA TEXTIL SOSTENIBLE A PARTIR
DE LA CASEÍNA DE LA LECHE MEDIANTE PROCESOS
FISICOQUÍMICOS.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: DALIZ NICOLLE LLANO GUALPA

DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Daliz Nicolle Llano Gualpa

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

Yo, Daliz Nicolle Llano Gualpa, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de mayo de 2024






Daliz Nicolle Llano Gualpa

055023845-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**DESARROLLO DE UNA FIBRA TEXTIL SOSTENIBLE A PARTIR DE LA CASEÍNA DE LA LECHE MEDIANTE PROCESOS FISICOQUÍMICOS**”, realizado por la señorita: **DALIZ NICOLLE LLANO GUALPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shuguli PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-14
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-14
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez, Ph.D. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-14

DEDICATORIA

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a mis padres, Segundo Llano y Martha Gualpa, quienes han sido mi pilar fundamental. Su amor y apoyo incondicional, sus sabios consejos y constante guía han sido esenciales para mi desarrollo personal y profesional. Me han motivado a ser valiente, a perseverar y a seguir adelante, sin rendirme nunca en la búsqueda de mis sueños, por más difícil que parezca. Agradezco enormemente todos los sacrificios que han realizado para mi formación.

A mi querida hermana Liliana, quien siempre me ha brindado motivación y ha estado a mi lado en los momentos buenos y difíciles. A mis hermanos, Danny y Santiago, quienes han sido una inspiración para alcanzar esta meta en la vida, demostrándoles que todo es posible con esfuerzo y determinación.

A mi amado ángel en el cielo, quien nunca me ha dejado sola y ha guiado en cada paso que he dado hasta ahora, logrando culminar una etapa más en mi vida Mami Goyita.

A toda mi familia y amigos, gracias por creer y confiar incondicionalmente en mí.

Daliz Nicolle

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme brindado salud y fortaleza para cumplir mi sueño de culminar mi etapa universitaria.

A mis queridos padres, Segundo y Martita, y a toda mi familia, les agradezco profundamente por su apoyo incondicional durante mi vida universitaria.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, agradezco por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de esta noble y prestigiosa institución. A la Facultad de Ciencias y en particular a la carrera de Ingeniería Química, doy gracias a sus docentes por impartirme sus conocimientos y por contribuir a formarme como una profesional con sólidos principios éticos y morales.

Mi más sincero agradecimiento a mi directora y asesor, la Ing. Mabel Parada y el Dr. Robert Cázár, por brindarme sus valiosos conocimientos, apoyo y guía durante la elaboración y culminación de este trabajo de integración curricular.

A las técnicas de los distintos laboratorios, la Ing. Valeria Tapia, la Ing. Erika Cazorla y la BQF. Pamela Morales, les agradezco enormemente por su acompañamiento durante los análisis de las muestras y por su infinita paciencia.

A mis amigos, quienes han sido parte fundamental de esta bonita experiencia universitaria, les doy mi más sincero agradecimiento por su compañía y apoyo incondicional.

Daliz Nicolle

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	3
<i>1.2.1. Limitaciones</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Delimitaciones</i>	<i>4</i>
1.3. Objetivos.....	4
<i>1.1.1 Objetivo General.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1. Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>
1.4. Justificación.....	5
1.5. Hipótesis	6
<i>1.5.1. Hipótesis General.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2. Hipótesis Específicos.....</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Referencias Teóricas.....	13
<i>2.2.1. Fibras Textiles</i>	<i>13</i>
<i>2.2.1.1. Propiedades de las fibras textiles</i>	<i>13</i>
<i>2.2.1.2. Clasificación de las fibras textiles.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.2. Leche.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.3. El agua.....</i>	<i>18</i>

2.2.4.	<i>Proteínas</i>	18
2.2.5.	<i>Grasa</i>	22
2.2.6.	<i>Elementos minerales</i>	22
2.2.7.	<i>Vitaminas</i>	22
2.2.8.	<i>Enzimas</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Enfoque de Investigación	23
3.1.1.	<i>Enfoque Cuantitativo</i>	23
3.1.2.	<i>Enfoque Cualitativo</i>	23
3.2.	Nivel de Investigación	23
3.3.	Diseño de Investigación	24
3.4.	Formulación para obtener la caseína a partir de leche entera.	27
3.5.	Identificación de Variables	28
3.5.1.	<i>Variables Dependientes</i>	28
3.5.2.	<i>Variables independientes</i>	28
3.6.	Tipo de estudio	28
3.7.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra.	28
3.8.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	29
3.8.1.	<i>Obtención de caseína por precipitación/ácido acético</i>	29
3.8.1.1.	<i>Caracterización de la caseína.</i>	31
3.8.1.2.	<i>Normativa para la caseína de la leche.</i>	31
3.8.2.	<i>Proceso de desarrollo de fibra textil.</i>	32
3.8.2.1.	<i>Caracterización de la fibra textil</i>	33
3.8.2.2.	<i>Normativa para la caracterización de la fibra textil</i>	34
3.9.	Viabilidad técnica y económica	36
3.9.1.	<i>Viabilidad Técnica</i>	36
3.9.2.	<i>Viabilidad Económica</i>	37
3.10.	Análisis estadístico	37
3.10.1.	<i>Análisis estadístico cualitativo</i>	38
3.10.2.	<i>Análisis estadístico cuantitativo</i>	38

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
4.1.	Obtención de Caseína.....	39
4.1.1.	<i>Resultados obtenidos de la caracterización de la proteína.</i>	<i>40</i>
4.1.2.	<i>Resultados obtenidos de la caracterización de la fibra textil.....</i>	<i>43</i>
4.2.	Viabilidad Técnica y Económica	46
4.2.1.	<i>Resultados de la Viabilidad Técnica.....</i>	<i>46</i>
4.2.2.	<i>Resultados de la Viabilidad Económica</i>	<i>47</i>
4.3.	Análisis estadístico	48
4.3.1.	<i>Análisis estadístico cualitativo</i>	<i>48</i>
4.3.2.	<i>Análisis estadístico cuantitativo.....</i>	<i>51</i>
4.4.	Discusión.....	57
4.5.	Comprobación de la hipótesis.....	58
4.5.1.	<i>Respuesta a Hipótesis General</i>	<i>58</i>
4.5.2.	<i>Respuesta a Hipótesis Específicas</i>	<i>58</i>

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO.....	62
-----------	-------------------------------	-----------

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
6.1.	Conclusiones.....	66
6.2.	Recomendaciones.....	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Referencias bibliográficas antecedentes a la investigación.	11
Tabla 2-2: Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100 gr).....	17
Tabla 3-1: Diseño de investigación por lotes.....	26
Tabla 3-2: Formulación para obtención de la caseína.....	27
Tabla 3-3: Formulación para el desarrollo de la fibra textil a partir de la caseína.	27
Tabla 3-4: Metodología para el análisis de humedad de la caseína.	31
Tabla 3-5: Metodología para el análisis de ceniza de la caseína.....	31
Tabla 3-6: Parámetros para el análisis de la caseína.	32
Tabla 3-7: Análisis de reacción a la llama de fibra textil.....	33
Tabla 3-8: Análisis de solubilidad de la fibra textil.	34
Tabla 3-9: Análisis de tracción de la fibra textil.....	34
Tabla 3-10: Propiedades físicas de la fibra textil.	34
Tabla 3-11: Reacción a la llama de la fibra textil.	35
Tabla 3-12: Propiedades Químicas: Solubilidad de fibras.	35
Tabla 3-13: Propiedades Mecánicas de Fibra.	36
Tabla 3-14: Viabilidad Técnica.....	36
Tabla 3-15: Viabilidad Económica.....	37
Tabla 4-1: Cantidad de caseína obtenida por cada Lote.	39
Tabla 4-2: Parámetros obtenidos para la caracterización de la leche.....	40
Tabla 4-3: Caracterización de la leche respecto a la Norma de Codex Alimentarius 2022.	40
Tabla 4-4: Datos de la operación de secado de caseína.	41
Tabla 4-5: Resultados respecto a las propiedades físicas de la fibra.	43
Tabla 4-6: Resultados de reacción a la llama de la fibra.....	44
Tabla 4-7: Resultados de la solubilidad de la fibra.	45
Tabla 4-8: Análisis de Viabilidad Técnica.....	46
Tabla 4-9: Análisis de Viabilidad Económica.....	47
Tabla 4-10: Resultados del espesor (mm) de la fibra.....	48
Tabla 4-11: Resultados de reacción a la llama de las fibras según Norma INEN 2010.....	49
Tabla 4-12: Resultados de resistencia a la tracción de la fibra de manera manual.	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Tipos de fibras textiles.....	15
Ilustración 2-2: Tejido tipo calada.....	15
Ilustración 2-3: Tejido tipo calada.....	16
Ilustración 2-4: No tejido	16
Ilustración 2-5: Estructura general de las proteínas lácteas.....	18
Ilustración 2-6: Diferencia en la estructura de la beta-caseína A1 y A2	20
Ilustración 3-1: Diseño experimental para obtener caseína ácida.	24
Ilustración 3-2: Diseño experimental para desarrollar la fibra textil.....	25
Ilustración 3-3: Esquema de extracción de caseína a 20°C y 38°C.....	30
Ilustración 3-4: Proceso para desarrollar la fibra textil.	33
Ilustración 4-1: Curva de secado y Velocidad del L1.	41
Ilustración 4-2: Curva de secado y Velocidad del L2.	42
Ilustración 4-3: Gráfico de columnas de acuerdo con el espesor de la fibra.	49
Ilustración 4-4: Gráfico de columnas respecto a la reacción de la llama.	50
Ilustración 4-5: Modelo lineal: Tracción vs. Concentración NaOH; Temperatura (°C).	52
Ilustración 4-6: Modelo lineal: Tracción vs. Concentración NaOH; T (°C).	53
Ilustración 4-7: Gráfica de distribución normal.	53
Ilustración 4-8: Gráfica de representación de varianza.	54
Ilustración 4-9: Representación de frecuencia y residuos.	55
Ilustración 4-10: Representación de orden e independencia.	55
Ilustración 4-11: Representación de concentración NaOH vs. Medias de resistencia.	56
Ilustración 4-12: Representación de T(°C) vs. Medias de resistencia con 0.2M NaOH.	56
Ilustración 5-1: Extracción de caseína Lote 1.	63
Ilustración 5-2: Extracción de caseína Lote 2.	64
Ilustración 5-3: Desarrollo de la fibra textil.	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

ANEXO B: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CASEÍNA A PARTIR DE LA LECHE.

ANEXO C: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 1.

ANEXO D: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 2.

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DE LA PROTEÍNA.

ANEXO F: PROCESO PARA DESARROLLAR LA FIBRA TEXTIL.

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA TEXTIL - REACCIÓN A LA LLAMA.

ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA TEXTIL - SOLUBILIDAD.

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

- Fotografía N° 1.** Preparación de la leche.
- Fotografía N° 2.** Acidificación a pH de 5.25.
- Fotografía N° 3.** Precipitación de las muestras por Lotes.
- Fotografía N° 4.** Precipitado de Lote 1.
- Fotografía N° 5.** Precipitado de Lote 2.
- Fotografía N° 6.** Filtrado de los precipitados.
- Fotografía N° 7.** 40 ml de Etanol al 96% para primer lavado.
- Fotografía N° 8.** 80 ml de agua destilada para segundo lavado.
- Fotografía N° 9.** Caseína húmeda antes del proceso de secado.
- Fotografía N° 10.** Caseína seca después del proceso de secado.
- Fotografía N° 11.** Lotes de caseína antes de trituración y tamizado.
- Fotografía N° 12.** Trituración de la caseína.
- Fotografía N° 13.** Tamizado de caseína.
- Fotografía N° 14.** Lotes de caseínas después del proceso de trituración y tamizado.
- Fotografía N° 15.** Análisis en el equipo LACTOSCAN.
- Fotografía N° 16.** Prueba de cenizas.
- Fotografía N° 17.** Muestras en mufla.
- Fotografía N° 18.** Análisis de humedad.
- Fotografía N° 19.** Preparación de materiales.
- Fotografía N° 20.** Pesado de 1 gramo de caseína.
- Fotografía N° 21.** Adición de 2 ml de agua destilada y glicerina.
- Fotografía N° 22.** Añadir y mezclar 1 ml de NaOH (0.2 – 0.5M) respectivamente.
- Fotografía N° 23.** Calentar la mezcla a las diferentes temperaturas (65 – 70 – 75 °C).
- Fotografía N° 24.** Colocar en las placas y secar a 45 °C.
- Fotografía N° 25.** Tamaño de 2x2 cm de película textil.
- Fotografía N° 26.** Se funde cerca de la llama.
- Fotografía N° 27.** Se contrae y se aleja de la llama.
- Fotografía N° 28.** La película arde con la llama.
- Fotografía N° 29.** La película textil arde y continúa quemando al retirar de la llama.
- Fotografía N° 30.** Apariencia de ceniza después de apagarse la llama.
- Fotografía N° 31.** Solubilidad con 6 ml de ácido acético.
- Fotografía N° 32.** Película insoluble en ácido acético
- Fotografía N° 33.** Solubilidad con 6 ml de acetona junto con 0.06 gramos de película.

Fotografía N° 34. Insoluble en acetona.

Fotografía N° 35. Solubilidad con 1 ml de ácido fórmico y con 0.01 gramo de película.

Fotografía N° 36. Insoluble en ácido fórmico.

Fotografía N° 37. Solubilidad con 1 ml de ácido sulfúrico con 0.01 gramo de película.

Fotografía N° 38. Insoluble en ácido sulfúrico.

RESUMEN

La industria textil representa una seria amenaza para el medio ambiente debido a sus considerables emisiones de carbono, el uso excesivo de agua y la generación de desechos. Esta investigación propone una alternativa sostenible el desarrollo de fibras textiles a partir de la caseína, la principal proteína de la leche tiene propiedades ideales para crear fibras. A diferencia de las fibras sintéticas, que contaminan por el uso de combustibles fósiles, la producción de fibras a partir de la caseína es un proceso limpio y sostenible. La metodología empleada combinó enfoques cualitativos y cuantitativos, incluyendo un diseño experimental de bloques al azar para la obtención de caseína en polvo y la fabricación de fibras. Se logró obtener una película con 0.2 M de NaOH en Lote 1 y 2 en lugar de fibras debido a diversos factores que pudieron influir en su desarrollo, se observaron limitaciones en propiedades como la resistencia al calor y tracción, por otra parte, la solubilidad que presenta es una buena propiedad a ciertos compuestos. Se identificó la necesidad de realizar más investigaciones para mejorar estas características, incluyendo explorar otros reticulantes para aumentar la resistencia de la película, debido a que con ácido sulfúrico y ácido láctico no dieron buenos resultados. Se destaca la sostenibilidad del proceso, que no involucra el uso de compuestos químicos tóxicos, aunque se reconoce que, a nivel de laboratorio, la viabilidad puede ser limitada debido a la disponibilidad de equipos necesarios. Se sugiere una investigación más exhaustiva de los métodos, así como considerar la viabilidad técnica y económica a largo plazo para lograr un impacto significativo en la industria textil. Se concluye que se logró obtener una película textil, con buenas cualidades físicas y químicas de insolubilidad, pero en relación con la resistencia a la tracción no se obtuvieron buenos resultados.

Palabras clave: <PELÍCULA TEXTIL>, <CASEÍNA>, <MÉTODO>, <CONCENTRACIÓN>, <TEMPERATURA>.

0755-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The textile industry represents a serious threat to the environment due to its considerable carbon emissions, excessive water use and waste generation. This research proposes a sustainable alternative, the development of textile fibers from casein, the main protein in milk, which has ideal properties for creating fibers. Unlike synthetic fibers, which pollute due to the use of fossil fuels, the production of fibers from casein is a clean and sustainable process. The methodology employed combined qualitative and quantitative approaches, including a randomized block experimental design for casein powder and fiber manufacturing. It was possible to obtain a film with 0.2 M NaOH in Batch 1 and 2 instead of fibers due to several factors that could influence its development, limitations were observed in properties such as heat and tensile strength, on the other hand, the solubility it presents is a good property to certain compounds. The need for further research to improve these characteristics was identified, including exploring other crosslinkers to increase the film strength, since sulfuric acid and lactic acid did not give good results. The sustainability of the process, which does not involve the use of toxic chemical compounds, is highlighted, although it is recognized that, at the laboratory level, feasibility may be limited due to the availability of necessary equipment. Further investigation of the methods is suggested, as well as consideration of the long-term technical and economic feasibility to achieve a significant impact on the textile industry. It is concluded that it was possible to obtain a textile film, with good physical and chemical insolubility qualities, but in relation to tensile strength, good results were not obtained.

Key words: <TEXTILE FILM>, <CASEIN>, <METHOD>, <CONCENTRATION>, <TEMPERATURE>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

La industria textil es una de las más importantes del mundo, y genera una gran cantidad de residuos. La producción de fibras textiles tradicionales, como el algodón, el poliéster y la lana, requiere el uso de grandes cantidades de agua, energía y recursos naturales. Además, la producción de estas fibras genera emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. En este contexto, el desarrollo de fibras textiles sostenibles es una prioridad para la industria. Las fibras sostenibles son aquellas que se producen de manera respetuosa con el medio ambiente, utilizando recursos renovables y minimizando el impacto ambiental.

Una de las fibras textiles sostenibles que se ha desarrollado recientemente es la fibra de caseína. La caseína es una proteína que se encuentra en la leche, y es una materia prima renovable y abundante. La fibra de caseína se puede producir mediante procesos fisicoquímicos, que son más respetuosos con el medio ambiente que los procesos químicos tradicionales utilizados para la producción de otras fibras textiles.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche mediante procesos fisicoquímicos. Para ello, se establecerá un método óptimo para la extracción y purificación de la caseína de la leche, se identificarán los parámetros adecuados en la obtención de la caseína para la elaboración de la fibra textil, se determinarán las propiedades físicas, químicas, mecánicas y la calidad de la fibra textil elaborada, se investigará la viabilidad técnica y económica para la obtención de una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche, y se aplicará un método estadístico para la interpretación de datos de la investigación.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La industria textil es una de las principales fuentes de daño ambiental. Esto se debe a la gran cantidad de emisiones de carbono, las cuales tienen el potencial de causar el cambio climático y al calentamiento global. Además, es importante tener en cuenta que la fabricación de prendas implica el uso de cantidades de agua y la eliminación de toneladas de desechos en nuestros océanos. Las emisiones de carbono durante la fabricación son ampliamente conocidas. Aproximadamente 500 mil toneladas de microplásticos se liberan a los océanos cada año como resultado del lavado continuo de ropa hecha de fibras sintéticas. Para mantener el ritmo de la producción actual, se espera que el consumo de petróleo se triplique a 300 millones de toneladas para el año 2050 si esta tendencia de producción continúa como se proyecta (Pastrana y Almanza 2021, pág. 1).

El 97 % de las materias utilizadas en la industria textil son de origen virgen mientras que solo el 2 % proviene de fuentes recicladas. Más de 1.200 millones de toneladas de dióxido de carbono se emiten cada año, lo que supera las emisiones combinadas de los vuelos y marítimos. Como resultado, el proceso de teñido de telas requiere una gran cantidad de agua dulce. Además, la producción de textiles en algunos países genera residuos líquidos, que con frecuencia se descartan al medio ambiente sin tratamiento previo (García, Ana 2021, pág. 6).

En Ecuador, las empresas textiles ubicadas en la ciudad de Guayaquil, a través de sus actividades que incluyen la fabricación, teñido, estampado y corte de telas, así como la confección de prendas de vestir, tienen varios problemas e impactos ambientales. Desafortunadamente, una gran cantidad de estos aspectos no están bajo control, lo que indica que el cumplimiento legal en este ámbito es muy bajo, alrededor del 20%. Además, se observa que la alta dirección no está comprometida con la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (Bermeo 2015, pág. 3).

El objetivo de esta investigación tiene un potencial significativo para minimizar el impacto ambiental de la industria textil. La leche, como materia prima abundante y renovable, se obtiene de manera sostenible gracias a su origen en animales (ganado), constituyendo estos una fuente de

recursos renovables. Además, la caseína, la principal proteína de la leche, posee cualidades que la hacen ideal para la creación de fibras textiles. En contraste, los métodos convencionales de obtención de fibras sintéticas, como el poliéster y el nylon, resultan altamente contaminantes debido al uso intensivo de combustibles fósiles, lo que da lugar a emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la producción de fibras a partir de leche es un proceso relativamente limpio y sostenible.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

En este apartado del presente trabajo de investigación, se abordarán las limitaciones y delimitaciones inherentes al estudio.

1.2.1. Limitaciones

A continuación, se detallan las limitaciones identificadas:

- **Disponibilidad y Producción Limitada de Caseína:** La obtención de caseína en grandes cantidades puede ser limitada debido a la producción de leche y los procesos necesarios para extraerla de la misma, lo que puede dificultar la fabricación a gran escala de la fibra textil.
- **Necesidad de Investigación Continua:** El desarrollo de una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche es un campo de investigación relativamente nuevo, por lo que aún existen limitaciones que deben superarse. Estas limitaciones incluyen la necesidad de propiedades específicas para la producción de fibra textil, así como la falta de personas especializadas en el ámbito de la industria textil.
- **Tiempo:** debido a que este proceso experimental involucra repeticiones y pruebas tanto en la obtención de la caseína como en la evaluación de diferentes métodos, se requiere un periodo significativo para poder llevar a cabo la investigación y experimentación completa y rigurosa.
- **Método:** aunque se han propuesto varios métodos en el presente trabajo de integración curricular, se pretende analizar el método que ha sido más ampliamente experimentado, teniendo en cuenta restricciones como el tiempo, la disponibilidad de equipos y componentes químicos.
- **Propiedades Mecánicas Limitadas:** Las fibras textiles derivadas de la caseína pueden tener propiedades mecánicas limitadas en comparación con las fibras sintéticas tradicionales, lo que podría restringir su uso en aplicaciones que requieren resistencia y durabilidad excepcionales.

- **Costos de producción:** Los procesos fisicoquímicos requeridos para transformar la caseína en fibra textil pueden ser costosos debido a la necesidad de equipos especializados y materiales químicos, lo que podría hacer que el producto final sea caro y menos accesible para los consumidores.
- **Sensibilidad a condiciones ambientales:** La caseína y las fibras derivadas de ella pueden ser sensibles a ciertas condiciones ambientales como la humedad y el calor, lo que puede afectar su durabilidad y estabilidad en diferentes entornos, limitando su aplicabilidad en ciertos usos textiles.
- **Compatibilidad con componentes:** La fibra textil obtenida a partir de la caseína de la leche puede ser incompatible con ciertos componentes, utilizados para los tratamientos químicos. Esto puede limitar su uso en aplicaciones específicas.

1.2.2. Delimitaciones

A continuación, se detallan las delimitaciones identificadas:

- **Enfoque en la caseína de la leche:** El estudio se centrará específicamente en el uso de caseína, una proteína presente en la leche, como materia prima para desarrollar una fibra textil sostenible.
- **Procesos Fisicoquímicos:** Se limitará a procesos que involucren tanto principios físicos como químicos para transformar la caseína en una fibra textil, excluyendo otros métodos que no impliquen aspectos físicos o químicos significativos.
- **Sostenibilidad Ambiental:** El proyecto se centrará en la sostenibilidad ambiental, mediante la reducción de residuos, el uso eficiente de recursos y la minimización del impacto ambiental de los procesos utilizados.
- **Aplicación Textil:** La fibra desarrollada estará destinada específicamente para aplicaciones textiles, excluyendo su uso en otras áreas como la industria alimentaria o farmacéutica.
- **Evaluación de propiedades:** Es posible analizar características específicas de la fibra, tales como su resistencia, durabilidad, flexibilidad y capacidad de biodegradación. Esta evaluación desempeña un papel fundamental en la determinación de la idoneidad de la fibra como material textil sostenible.

1.3. Objetivos

Los objetivos que persigue al realizar este trabajo de investigación son los siguientes.

1.1.1 Objetivo General

- Desarrollar una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche mediante procesos fisicoquímicos.

1.3.1. Objetivos Específicos

A continuación, se describen detalladamente los objetivos específicos que se busca alcanzar:

- Establecer un método óptimo para la extracción y purificación de la caseína de la leche, utilizando procesos fisicoquímicos.
- Identificar los parámetros adecuados en la obtención de la caseína para la elaboración de la fibra textil.
- Determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y la calidad de la fibra textil elaborada.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica para la obtención de una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche.
- Aplicar un método estadístico para la discriminación de datos de la investigación.

1.4. Justificación

La industria textil ha avanzado significativamente en la investigación con el propósito de desarrollar tejidos completamente sostenibles 100% ecológico (Kutsche y Papaleo 2011, pág. 1). En conformidad con Stenton et al. (2021, págs. 1-2), mencionan que, en 2017, la producción mundial de fibras superó los 105 millones de toneladas. Las fibras sintéticas, como el poliéster y el nailon, representaron el 76 % del total, mientras que las fibras naturales, como el algodón y la lana, representaron el 24 % restante.

La industria de la confección es responsable de una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, se calcula que produce 3.300 millones de toneladas de CO₂ al año. Se prevé que el consumo de ropa aumente de 62 millones de toneladas en la actualidad a 102 millones de toneladas en 2030. Esta tendencia, junto con los problemas ambientales ya existentes, pone de manifiesto la necesidad de desarrollar nuevos enfoques sostenibles para la industria de la confección.

Según, Flores y Soto (2020, pág. 2), el incremento en la producción textiles ha provocado un aumento significativo en la demanda de recursos naturales, lo que ha tenido un impacto significativo en el ecosistema. Como resultado de esta situación, la búsqueda de alternativas para la fabricación de textiles respetuosos con el medio ambiente ha aumentado a nivel social y científico. Se ha enfocado en la investigación y desarrollo de métodos y materiales más sostenibles, para evitar procesos que causan daños ambientales. Simultáneamente, la industria se ha encaminado en producir textiles que sean eficientes en términos de energía y costos, entre otras ventajas. Este enfoque social e industrial ha estimulado avances científicos y tecnológicos que han ampliado la gama de materias primas utilizadas en textiles, mejorando su calidad y promoviendo la innovación en el diseño.

De acuerdo con Guaraca (2023, pág. 1), un tema de gran importancia es el desarrollo de una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche utilizando procesos fisicoquímicos. Esto se aprovecha especialmente en el contexto de Ecuador, que figura entre los 17 países catalogados como megabiodiversos a nivel mundial y cuenta con una producción agrícola significativa, considerada una de las actividades económicas más cruciales para el desarrollo del país. Ecuador produce diariamente cerca de 5 millones de litros de leche, lo que brinda una base abundante de materia prima para explorar soluciones sostenibles en la industria textil.

La finalidad de la presente investigación consiste en la obtención de una fibra 100% natural y biodegradable, elaborada a partir de caseína, una proteína que se encuentra en la leche. Se busca aprovechar la abundante disponibilidad de esta materia prima en Ecuador, lo que hace que esta alternativa sea más viable y respetuosa con el medio ambiente, contribuyendo así a una mayor sostenibilidad en la producción textil (Materioteca de Galicia 2021, pág. 30).

1.5. Hipótesis

En este trabajo de investigación, se analizarán los datos obtenidos para determinar si las hipótesis planteadas son compatibles con los resultados.

1.5.1. Hipótesis General

¿Se puede desarrollar una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche aplicando procesos fisicoquímicos?

1.5.2. Hipótesis Específicos

Seguidamente se enumeran las hipótesis específicas:

- *Si se utilizan procesos fisicoquímicos ¿será posible obtener un método altamente eficiente y efectivo para extraer la caseína de la leche?*
- *Al determinar los parámetros óptimos, como la temperatura y el pH, ¿se optimizará el proceso de obtención de caseína para su posterior transformación en fibra textil?*
- *Al evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra textil, ¿se demostrará que la caseína de la leche puede generar un material textil con características satisfactorias?*
- *Al analizar la viabilidad técnica y económica, ¿se confirmará que la producción de fibra textil a partir de caseína es una alternativa sostenible y económicamente viable?*
- *Al aplicar un método estadístico, ¿se podrá distinguir y evaluar de manera objetiva los datos recopilados en la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones?*

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En esta parte del capítulo se dará a conocer las referencias bibliográficas que contribuyó al desarrollo de este proyecto de investigación.

2.1. Antecedentes de la investigación

Auerbach et al. (2022, pág. 3), explican que, fibras sostenibles son necesarias para la sociedad actual. Los problemas de escasez de materias primas y superpoblación no son nuevos. Durante la primera mitad del siglo XX, la presión económica causada por las dos guerras mundiales y el aumento de la población mundial se hicieron sentir. A lo largo del periodo de entreguerras, los gobiernos se enfocaron en una nueva ciencia: las fibras proteicas regeneradas, debido a las dificultades y la presión sobre los recursos textiles. La idea detrás de las fibras proteicas regeneradas (FPR) fue utilizar proteínas creadas en laboratorio para reducir la dependencia de fibras naturales como el algodón y la lana. Se esperaba que estas nuevas fibras fueran una alternativa económica y competitiva a las fibras naturales, y que pudieran satisfacer las necesidades de los consumidores.

García, María (2021, págs. 4-5), menciona que, debido al estímulo del consumismo por parte de la publicidad empresarial y los precios bajos de las prendas, el sector textil ha experimentado un notable crecimiento a lo largo del tiempo. Sin embargo, el aumento en la producción ha provocado una mayor extracción de recursos naturales limitados y no renovables. Si continuamos consumiendo al ritmo actual, es probable que en un futuro cercano agotemos los recursos del planeta. Además, los procesos de fabricación utilizados en la industria textil son altamente contaminantes, y ponen en peligro el medio ambiente en todas sus etapas.

Por otra parte, Mena (2020, págs. 2-3), manifiesta que, las industrias textiles con el tiempo han buscado formas de que por medio de fibras se hidrate la piel con recursos naturales como es la leche debido a que la caseína presente en esta contiene hidratos de carbono, grasas y proteínas, lo que la convierte en un eficaz agente suavizante. Estas cualidades permiten que sea empleada para acondicionar y suavizar tejidos, mejorando su sensación y aspecto. Además, la caseína es una proteína biodegradable y biocompatible, lo que la hace una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente para aplicaciones en la industria textil.

Campues (2022, pág. 2), determina que, la conciencia creciente entre los nuevos consumidores, como los millenials y la generación Z, sobre los efectos que tiene la industria de la moda en el medio ambiente ha llevado a que cambien su comportamiento al comprar productos más sostenibles. Esta tendencia ha llevado a las empresas de moda de todo el mundo en adoptar prácticas éticas y reducir su huella de carbono significativamente. En este contexto, el estudio de materiales ha sido crucial para la introducción de nuevas ideas que buscan mejorar la sostenibilidad en el sector de la moda.

Según, Flores y Soto (2020, pág. 4), debido a que se produce mediante el método conocido como hilatura en húmedo, la fibra textil con base de caseína se considera un textil respetuoso con el medio ambiente y se caracteriza principalmente por su baja resistencia a la humedad. Las fibras que provienen de proteínas regeneradas se clasifican como fibras artificiales, pero estas fibras están hechas por completo de recursos naturales.

Se debe llevar una falda de fibra de leche. Aunque pueda parecer una idea absurda, la leche es en realidad un material que se utilizará en el futuro. La fibra láctea no es una de las últimas innovaciones en fibra textil, aun cuando no es popular. Después de esfuerzos fallidos en Europa, en la década de 1930, un químico e ingeniero italiano logró fabricar por primera vez una fibra a partir de la caseína, la proteína de la leche, en lugar de la lana. Fue un avance significativo, pero no duró mucho debido a los productos químicos utilizados en su fabricación y la mala calidad de la fibra. Ahora se habla de esta fibra como el material que se utilizará en el futuro para abordar los problemas medioambientales (AFP-Relaxnews 2022, pág. 1).

La caseína es una proteína de la leche que puede descomponerse en péptidos. Algunos de estos péptidos tienen características biológicas activas, como la capacidad de aumentar la biodisponibilidad de minerales como el calcio. La caseína tiene muchas aplicaciones alimentarias y no alimentarias. Se utiliza en el sector alimentario como ingrediente en queso, leche en polvo, yogures y suplementos alimenticios. En el sector no alimentario, se utiliza para producir colas, adhesivos, papel y otros productos.

La caseína y sus derivados son antioxidantes. De acuerdo con los estudios pueden determinar que la enzima lipoxigenasa, participa en la oxidación de los lípidos. Esto podría ser útil para prevenir enfermedades cardiovasculares y otros problemas de estrés oxidativo (Azoia et al. 2021, págs. 2-3).

Badem y Uçar (2017, pág. 1), afirman que, la caseína se obtiene comercialmente de la leche desnatada y se precipita lentamente agregando ácido diluido hasta que el pH alcanza 4,0. Las cuajadas resultantes se denominan, como cuajada reprimida, cuajada cocida, cuajada granulada y cuajada de proceso continuo, dependiendo de la técnica utilizada. Estos métodos producen una cuajada cocida que es menos soluble y contiene más cenizas que otras variedades. Si se utiliza la mayor cantidad posible de ácido para producir cuajadas granuladas y de proceso continuo a la temperatura adecuada, se obtiene caseína de mejor calidad, con una rápida disolución y un bajo contenido de cenizas. Antes de cuajar la leche debe alcanzar una temperatura no deseable, triturándose a menos de 35°C.

El proceso de lavado se facilita porque la cuajada presenta partículas más grandes a 37,7°C. Cuando se cuaja a temperaturas de 55°C o más, se produce un producto de caseína duro, difícil de disolver y con un alto contenido de ácido y cenizas. La caseína deshidratada se seca uniformemente mediante métodos como el secado por pulverización o el secado por rodillo hasta alcanzar una humedad del 8-12%. Esto mejora su humectabilidad y dispersión. Además de los métodos tradicionales, existen nuevas técnicas para producir caseína, como la crioprecipitación, la precipitación con etanol, la ultrafiltración y la centrifugación con alta velocidad.

Chen et al. (2020, págs. 4-5), mencionan que, la leche comúnmente disponible en el mercado se utilizó para fabricar fibras a partir de caseína de leche. Después de centrifugarla, la porción más densa de la leche se utilizó para la formación de fibras. La reticulación con glutaraldehído (GA) se utilizó para colocar las proteínas de la leche en la estructura de la fibra. Este método puede reducir la presencia de imperfecciones en las fibras.

De acuerdo con, Stenton et al. (2021, págs. 8-9), en los años 1940, se utilizaron productos químicos que podrían ser dañinos, como el formaldehído, como agente reticulante para fortalecer las fibras. En la actualidad, los peligros del formaldehído, que incluyen su toxicidad y potenciales efectos cancerígenos y mutagénicos. Además, en los baños de coagulación y endurecimiento, se usaban altas concentraciones de ácido sulfúrico y sales (generalmente de aluminio o sodio), lo que dificultaba el manejo de desechos y evitaba que las fibras se pegaran durante el hilado.

Teniendo en cuenta los antecedentes de la utilización de los productos químicos anteriormente mencionados; Bier et al. (2017, pág. 2), anuncian que, la caseína de leche de vaca se molió en un mortero antes de tamizarse a través de una malla de 200 µm. Posteriormente, se mezcló con aceite de parafina viscoso Roth y el glicerol, y en parte se agregó glucosa o cera. Usando NaOH, se

ajustó con precisión el valor de pH de esta mezcla a 6.5. Se calentó la mezcla a 65°C después de que la caseína se disolvió por completo para reducir su viscosidad y facilitar la formación de fibras con una boquilla de hilatura.

Tabla 2-1: Referencias bibliográficas antecedentes a la investigación.

Autor(es)	Año	Título	Tipo	Enlace
H. W. Modler	1984	Functional Properties of Nonfat Dairy Ingredients - A Review. Modification of Products Containing Casein (Modler 1985).	Artículo	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030285810912
Vikram V. Mistry	2002	Manufacture and application of high milk protein powder (Mistry 2002).	Artículo	https://lait.dairy-journal.org/articles/lait/pdf/2002/04/13.pdf
A. Y. Tamime	2009	Dairy Powders and Concentrated Products (Tamime 2009).	Libro	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444322729
Abdullah Badem Gürkan Uçar	2017	Production of caseins and their usages (Badem y Uçar 2017).	Artículo	https://www.researchgate.net/publication/330674713_Production_of_caseins_and_their_usages
M C Bier S Kohn A Stierand N Grimmelsmann S VHomburg A Rattenholl A Ehrmann	2017	Investigation of eco-friendly casein fibre production methods (Bier et al. 2017).	Artículo	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/19/192004/pdf
Franklin Anibal Mena Chávez	2020	Aplicación de un acabado antialérgico con leche en tela 100% algodón (Mena 2020)	Tesis	http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10173/2/04%20IT%20260%20OTRABAJO%20GRADO.pdf
Mariana Monserrat Flores Nieves Genaro Martín Soto Zarazúa	2020	Integración de biopolímeros en la industria textil (Flores y Soto 2020)	Artículo	http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/34
Jinrui Zhang Jing Sun Bo Li Chenjing Yang Jianlei Shen Nan Wang Rui Gu Daguang Wang Dong Chen Honggang Hu Chunhai Fan Hongjie Zhang Kai Liu	2020	Robust Biological Fibers Based on Widely Available Proteins: Facile Fabrication and Suturing Application (Chen et al. 2020)	Artículo	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.201907598

Realizado por: Llano, D., 2024

Cont. Tabla 2-1: Referencias bibliográficas antecedentes a la investigación.

Autor(es)	Año	Título	Tipo	Enlace
María García Quesada	2021	Análisis de la sostenibilidad en el sector textil (García, María 2021).	Tesis	https://repositorio.comillas.edu/js_pui/bitstream/11531/52786/2/TFG%20-%20Garcia%20Quesada%2C%20Maria.pdf
Catarina Costa Nuno G. Azoia Lorena Coelho Ricardo Freixo Patrícia Batista Manuela Pintado	2021	Proteins Derived from the Dairy Losses and By-Products as Raw Materials for Non-Food Applications (Azoia et al. 2021).	Artículo	https://www.mdpi.com/2304-8158/10/1/135
Marie Stenton Joseph A. Houghton Veronika Kapsal Richard S. Blackburn	2021	The Potential for Regenerated Protein Fibres within a Circular Economy: Lessons from the Past Can Inform Sustainable Innovation in the Textiles Industry (Stenton et al. 2021).	Artículo	https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2328
Marie Stenton Veronika Kapsal Richard S. Blackburn Joseph A. Houghton	2021	From Clothing Rations to Fast Fashion: Utilising Regenerated Protein Fibres to Alleviate Pressures on Mass Production (Blackburn et al. 2021).	Artículo	https://www.mdpi.com/1996-1073/14/18/5654
Kedafi Belkhir Caroline Pillon Aurélie Cayla Christine Campagne	2021	Antibacterial Textile Based on Hydrolyzed Milk Casein (Belkhir et al. 2021).	Artículo	https://www.mdpi.com/1996-1944/14/2/251
Hannah Auerbach Marie Stenton Veronika Kapsali Richard S. Blackburn Joseph A. Houghton	2022	Referencing Historical Practices and Emergent Technologies in the Future Development of Sustainable Textiles: A Case Study Exploring “Ardil”, a UK-Based Regenerated Protein Fibre (Auerbach et al. (2022)	Artículo	https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8414
Carolina Joseth Campues Caluguillin	2022	Desarrollo de un género textil a partir del tallo de ortiga (Campues 2022)	Tesis	https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34517/1/Campues%20Carolina.pdf
Rocío Alonso Lopez	2022	La leche, una fibra textil casi como cualquier otra (AFP-Relaxnews 2022)	Reporte	https://pe.fashionnetwork.com/news/La-leche-una-fibra-textil-casi-como-cualquier-otra,1434141.html
Abhinav Reddy Mettu Nagapuri Pradeep Orugala Shashivardhan A. Anitha Lakshmi	2023	Optimization and mechanical characterization of casein and seaweed resin with hemp reinforcement: a review (Anitha Lakshmi et al. 2023).	Acta de conferencia	https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/28/e3sconf_icmed-icmpc2023_01001/e3sconf_icmed-icmpc2023_01001.html

Realizado por: Llano, D., 2024

Nota: En la sección de Anexos se presentará más referencias bibliográficas utilizadas en este trabajo de investigación.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. *Fibras Textiles*

Flores (2023, págs. 21-22), menciona que, las moléculas básicas (monómeros) también denominadas fibras y están organizadas en cadena lineal que forman macromoléculas (polímeros). El filamento de fibra tiene un diámetro muy pequeño en comparación con la longitud. Una fibra debe tener una relación cuya longitud debe ser cien veces el diámetro de esta para que sea adecuada para el procesamiento de telas.

Las fibras textiles son materias primas para la producción de materiales textiles porque son sólidos con una estructura normalmente cilíndrica, macroscópicamente homogéneos y muy flexibles.

2.2.1.1. *Propiedades de las fibras textiles*

De acuerdo con Flores (2023, págs. 21-22), las fibras textiles son identificadas por una serie de propiedades inherentes al material, las cuales pueden ser clasificadas en distintas categorías, destacando entre ellas las propiedades mecánicas. Estas propiedades mecánicas tienen la responsabilidad de cuantificar aspectos como: resistencia, alargamiento, tenacidad, flexibilidad, etc.

- **Alargamiento:** medido en milímetros o pulgadas, representa la extensión que experimenta un material bajo una fuerza de tensión, ya sea hasta el punto de rotura o no. Su cálculo se realiza restando la longitud inicial o de prueba de la longitud estirada.
- **Deformación:** expresada en relación con la longitud inicial o de prueba del material, es otra propiedad mecánica relevante.
- **Elongación:** medida en porcentaje, representa la magnitud de la deformación experimentada por un material.
- **Recuperación elástica:** expresada en porcentaje cuando se somete a tensión, cuantifica la relación entre la longitud recuperada y la longitud ganada por el material. Estas propiedades mecánicas son cruciales para comprender y evaluar el comportamiento y la resistencia de las fibras textiles.

2.2.1.2. Clasificación de las fibras textiles

2.2.1.2.1. Según su origen

La clasificación concreta de las fibras textiles se divide en cinco áreas, se puede observar en la Ilustración 2-1.

Origen natural.

- **De origen animal:** generalmente son proteicas y se diferencian de las fibras vegetales principalmente en que su sustancia básica y característica es la albúmina, similar a la celulosa lo es de las fibras vegetales.
- **De origen vegetal:** generalmente celulosa. Pueden ser unicelulares (como el algodón), o estar formados por haces de células (como el lino, el cáñamo, el yute, etc.). Arden con una llama luminosa, emitiendo un olor característico a papel quemado y dejando una pequeña cantidad de cenizas blanquecina.
- **Minerales:** generalmente amianto inorgánico, asbesto, fibra de vidrio, fibra cerámica.

Origen sintético

No utilizan componentes naturales, son enteramente químicos.

- **Monocomponentes:** Las fibras Spandex, Poliamida, Olefínicas, Poliacrílico, Poliéster, Modacrílicas y Aramídicas.
- **Bicomponentes:** Fibras Poliéster, Fibras Olefínicas, Fibras Acrílicas, Fibras Poliamídica.
- **Microfibras:** Fibras Acrílicas, Fibras Poliamidicas, Fibras Poliéster.

Origen artificial

Utilizan para su creación un componente natural.

- **Proteicas:** Caseína, Lanital.
- **Nitrocelulosa:** Rayón Triacetato
- **Celulósicas:** Rayón acetato, Rayón Viscosa y Tencel, Rayón Cuproamonio, Rayón.
- **Minerales:** Hilo metálico, Fibra de vidrio (Flores 2011, pág. 2).

Clasificación de las fibras textiles			
Fibras naturales	Animales	Procedentes de glándulas sedosas	Seda, seda salvaje
		Procedentes de folículos pilosos	Pelo de alpaca, de angora, de buey, de caballo, de conejo, castor, camello, cachemira, cabra, guanaco, llama, nutria vicuña, yak
	Vegetales	Procedentes de semillas	algodón
		Procedentes de tal	Lino, cáñamo, yute, ramio
		Procedentes de la hoja	Esparto
		Procedentes de fruto	sisal
Minerales	Asbestos, fibra de vidrio, fibra de carbono		
Fibras químicas	Artificiales	Base proteínica	De la caseína de la leche (Fibroína) De algas (Alginato) Rayones
		Base celulosa	De caucho y látex De albúminas vegetales
		Base metálica	Oro, plata, cobre
	sintéticas	Por polimerización	Polivinilo, poliacrílico
		Por policondensación	Poliéster (Tergal), Poliamida (Nylon)
		Por poliadición	Poliuretano, poliexpanoes

Ilustración 2-1: Tipos de fibras textiles

Fuente: Valencia, 2019.

2.2.1.2.2. Según su entrelazamiento

Limpe (2018, págs. 13-14), menciona que existe una clasificación de las telas de acuerdo con su forma de entrelazamiento de los hilos:

- **Tejido tipo calada:** es una superficie plana, flexible y poco elástica, formada por la intersección de dos series de hilos perpendiculares.

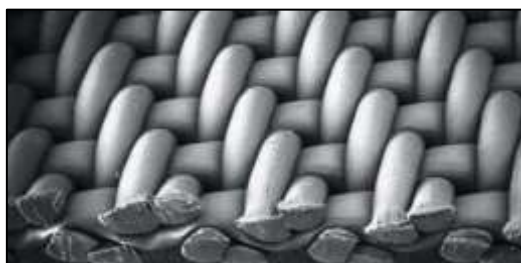


Ilustración 2-2: Tejido tipo calada

Fuente: Limpe, 2018.

- **Tejido de malla o tricotado:** una superficie plana, flexible y más o menos elástica, que no es el resultado de la intersección de dos series de hilos perpendiculares.

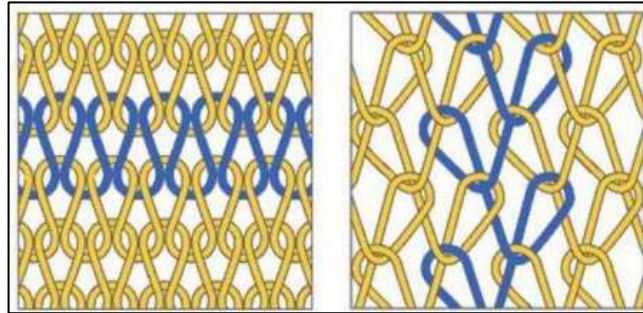


Ilustración 2-3: Tejido tipo calada

Fuente: Limpe, 2018.

- **No tejido:** Una superficie plana, flexible y más o menos elástica creada por la unión de fibras individuales entre sí de forma química y/o mecánica en lugar de la unión de dos series de hilos perpendiculares o la unión de hilos formando mallas.



Ilustración 2-4: No tejido

Fuente: Limpe, 2018.

2.2.2. Leche

La leche de vaca ha sido un alimento fundamental para la alimentación humana durante, al menos, los últimos 10.000 años. Es un alimento esencial para la alimentación en todas las edades de la vida debido a su alto contenido de nutrientes y su excelente relación entre la calidad nutricional y el aporte energético (Fernández et al. 2015, pág. 1).

En cuanto a la composición de la proteína de la leche depende de su composición, que se compone principalmente de caseína (80%) y proteína de suero (20%), generalmente representa

aproximadamente el 3% de la leche completa. Se ha demostrado que las proteínas de la leche tienen una mayor capacidad de digestión que las proteínas vegetales. Además, tanto las proteínas del suero como las caseínas son fuentes importantes de aminoácidos de cadena ramificada y otros péptidos bioactivos (Imm et al. 2021, pág. 1).

La leche es una emulsión que contiene 87,7% de agua, 3,3 -3,5% de proteína, 4,9% de lactosa, 3,4% de grasa, 0,70% de minerales y 3,36% de componentes menores. Como se mencionó anterior, la leche bovina es una fuente significativa de nutrientes, incluidas proteínas de alta calidad, carbohidratos y micronutrientes, que son esenciales para el crecimiento de los terneros lactantes. Además, la leche bovina es uno de los alimentos básicos más completos para la nutrición humana. La leche de origen animal y sus derivados satisfacen aproximadamente el 20% de las necesidades energéticas, 25% de las necesidades proteicas y el 50% de los requerimientos de calcio de la población humana, por lo que es crucial que los niños y los adultos consuman este alimento (Padilla y Zambrano 2021, pág. 3).

La leche constituye una mezcla compleja de diversas sustancias, algunas presentes en suspensión o emulsión, y otras en forma de solución real, incluyendo componentes definidos como agua, grasa, proteína, lactosa, vitaminas y minerales, conocidos colectivamente como extracto seco o sólidos totales. La cantidad de sólidos totales en la leche puede variar debido a diversos factores como la raza, el tipo de alimentación, el entorno y la salud general de la vaca, entre otros (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 3).

Tabla 2-2: Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100 gr).

Nutriente (gr.)	Vaca	Búfala	Mujer
Agua	88	84	87.5
Energía (Kcal)	61	97	7.0
Proteína	3.2	3.7	1.0
Grasa	3.4	6.9	4.4
Lactosa	4.7	5.2	6.9
Minerales	0.72	0.79	0.20

Fuente: Agudelo y Bedoya, 2005.

Realizado por: Llano, D., 2024

2.2.3. El agua

Los glóbulos grasos y otros componentes de mayor tamaño se emulsionan o se suspenden en la fase dispersante del agua. Un coloide proteico puede ser liófilo (como la albúmina) o lióforo (como la globulina y la caseína). Por otro lado, solución real contiene la lactosa y las sales (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 3).

2.2.4. Proteínas

La cantidad de proteína en la leche es de 3.5% la cual, oscila entre el 2.9% al 3.9%. Esta “proteína láctea” consiste en una variedad de fracciones proteicas con pesos moleculares diferentes (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 3).

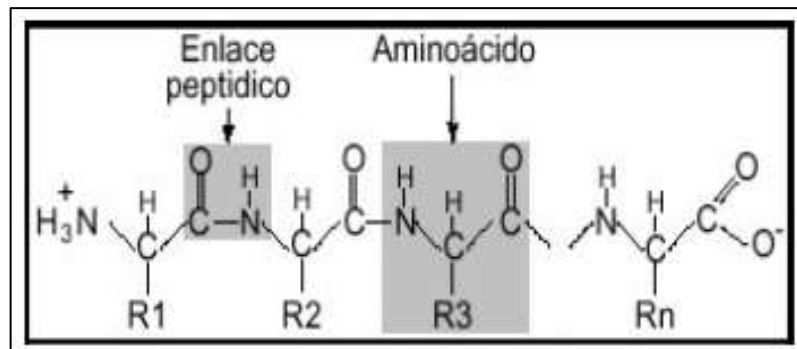


Ilustración 2-5: Estructura general de las proteínas lácteas.

Fuente: Agudelo y Bedoya, 2005.

Las proteínas de la leche se dividen en tres grupos principales, según la facilidad con la que se solubilizan a un pH de 4,6 (punto isoeléctrico de la caseína) en: 1) Caseína, 2) Proteína de suero y 3) Proteína que forma parte de la membrana del glóbulo graso. Esta última representa solo el 1% de la proteína total de la leche, mientras que la proteína de suero representa alrededor del 14% y están conformada por β -lactoglobulina (β -LG), α -lactoalbúmina (α -LA), inmunoglobulinas (IgG), glicomacropéptidos (GMP), albúmina del suero bovino (BSA) y pequeñas proteínas, como: lactoperoxidasa, lisozima y lactoferrina, estas proteínas constituyen un problema ambiental en la industria láctea, debido a que pueden ser derramadas en el agua alterando con ello su calidad y el equilibrio de los sistemas acuáticos. La proteína restante (alrededor 80%) está relacionada con la caseína (Padilla y Zambrano 2021, pág. 4).

2.2.4.1. Caseína

Las micelas de caseína, que se componen de partículas coloidales de tamaño submicrométrico, contienen caseínas, que representan el 80% de la proteína de la leche y además se encuentran junto con el calcio y fosfato. Las micelas de caseína dispersan la luz, lo que da a la leche su apariencia blanca característica. La estabilidad de la leche depende de la integridad de las micelas de caseína y las propiedades de los productos preparados a partir de la leche dependen en parte de las propiedades de las micelas (Law y Leaver 2007, pág. 2).

La caseína, la proteína principal de la leche, es una sustancia económica y fácil de obtener. Es una macromolécula formada por cuatro fosfoproteínas: caseína α (s1) y caseína α (s2), β -caseína y κ -caseína, con una relación molar de 4: 1: 4: 1. Con un peso molecular entre 19 y 25 kDa, puede ser fosforilada, lo que mejora su capacidad para unirse al fosfato de calcio, (Flores 2023, pág. 12).

La caseína se considera una proteína intrínsecamente desestructurada y sin una estructura secundaria específica, en la estructura de la caseína, el péptido prolina hace que las hélices α y las cadenas β formen una estructura enrollada aleatoria. Por lo tanto, tiene buena estabilidad térmica, por ende, es termoestable, debido a que el péptido prolina en la estructura de la caseína tiende a romper las cadenas alfa-hélice y beta y no existen puentes disulfuro en su estructura, con poca estructura secundaria o terciaria, también tiene un efecto antibacteriano natural (Flores 2023, pág. 12).

La glicosilación del 50% de κ -caseína, que significa que su parte C-terminal es hidrofílica es otra característica importante. Esta propiedad es esencial para la estabilidad y la estructura micelar. Por otro lado, los residuos prolílicos son abundantes en las moléculas de caseína, lo que permite conformaciones abiertas y flexibles. Las moléculas de caseína tienen excelentes propiedades tensioactivas y estabilizadoras debido a su alta flexibilidad. Dentro del diseño de fibras, el uso de aditivos auxiliares se ha vuelto conocido para brindar adherencia, estabilidad y potencializar las propiedades que se desean desarrollar sobre la fibra a la que se aplicarán (Flores 2023, pág. 12).

2.2.4.1.1. Tipo de caseína

- El gen CSN1S1 codifica la α S1-caseína, es la proteína principal de las micelas de caseína (39 - 46%). Consta de 199 aminoácidos, ocho de los cuales son residuos de serina fosforilados en las cadenas laterales, y tienen un peso molecular de 23,62 kDa.
- El gen CSN1S2 codifica la α S2-caseína, la cual consta de 207 aminoácidos y representa el 8 y 11% de la caseína total de la leche. Tiene una masa molecular de 25,23 kDa.
- El gen CSN3 codifica la κ -caseína, está formada por 169 aminoácidos, reemplaza entre el 8 y 15% del total de la caseína de la leche, se sitúa en la superficie de la estructura micelar, y tiene un peso molecular de 19 kDa.
- La β -caseína es una proteína codificada por el gen CSN2, está compuesta por 209 aminoácidos, y constituye aproximadamente el 37% del total de la caseína de la leche. Es la más hidrofóbica de todas las caseínas, posee un peso molecular de 26,6 kDa y forma junto con las α -caseínas, el núcleo en la micela que interactúa con los iones de calcio (Padilla y Zambrano 2021, págs. 17-20).

Las variaciones genéticas o polimorfismos se encuentran en las moléculas de la proteína beta-caseína láctea, que se representan con letras, generalmente “A” y “B”, “A1” y “A2”. Las variantes A1 y A2 son las más frecuentes y significativas, la única diferencia entre ellas es un aminoácido en la posición 67 de la cadena peptídica. La variante A1 contiene histidina, mientras que la variante A2 contiene prolina (Ilustración 2-6). Esta diferencia es el resultado de un cambio de nucleótido, que cambia la estructura de la proteína. En la variante A1, el codón original CCT (citosina-citosina-timina) que forma el aminoácido prolina, se modifica para convertirse en CAT (citosina-adenina-timina) que codifica la formación de histidina en la posición 67 de la cadena polipeptídica de la beta-caseína (Alomar and Gatica 2017, pág. 2).

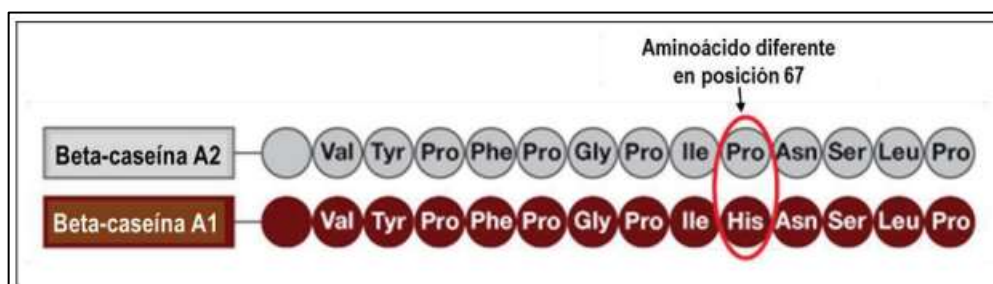


Ilustración 2-6: Diferencia en la estructura de la beta-caseína A1 y A2

Fuente: Alomar y Gatica, 2017.

2.2.4.1.2. *Productos de caseína*

- **Caseínas de cuajo:** caseínas producidas por enzimas proteolíticas (cuajo o quimosina) que hidrolizan la cadena polipeptídica de k-CN entre Phe105-Met106.
- **Caseínas ácidas:** utilizando cultivos iniciadores (que producen ácido láctico) o ácidos directos (como HCl, HNO₃ y H₂SO₄) que alcance un pH de 4,6 hasta 5.2 (punto isoeléctrico) para precipitar la caseína.
- **Caseinatos:** a la caseína ácida se le agregan álcalis como NaOH, NH₄OH, KOH y Ca (OH)₂ para aumentar el pH a 7.
- **Coprecipitados:** se obtiene calentando la leche desnatada a 90-95°C durante treinta minutos, desnaturando la mayoría de las proteínas de suero (SP) en caseína (CN) mediante interacciones disulfuro entre β y K-CN. Luego, se acidifica con un ácido mineral hasta un pH de 4,6 y se añade CaCl₂ para recuperar la mayoría de las proteínas. Los coprecipitados resultantes se lavan y secan.
- **Concentrado de proteína de leche (MPC):** se logra mediante una tecnología de separación que evita la acidificación de la proteína de la leche por medio del uso de productos químicos como los coprecipitados. La ultrafiltración (UF) se utiliza para concentrar la caseína y proteína de suero (SP) de la leche desnatada mientras se eliminan la lactosa y los minerales.
- **Concentrado de caseína micelar (MCC):** el MCC se mantiene en forma de micelas de caseína, lo que distingue de otros ingredientes de caseína y lo hace único con una amplia gama de usos (Hammam, Martínez and Metzger 2021, págs. 11–13).

2.2.4.2. *Proteínas séricas*

- La albúmina, una proteína que se encuentra en segundo lugar en cantidad después de la caseína, representa aproximadamente el 0.5% de la proteína de la leche. Las albúminas tienden a desnaturizarse fácilmente cuando se someten a altas temperaturas a diferencia de la caseína, que es relativamente resistente al calor. Como resultado, una parte importante de la proteína sérica se destruye durante el proceso de calentamiento a altas temperaturas.
- Las globulinas de la leche son proteínas de alto peso molecular presentes tanto en la sangre como en las células del parénquima mamario. Durante la lactancia, su proporción varía considerablemente, representando entre el 9% y el 16% del total de proteínas, con el porcentaje más alto encontrado en el calostro. En las etapas finales de la lactancia, este porcentaje disminuye lentamente hasta alcanzar solo unas milésimas. (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 4).

2.2.5. Grasa

La grasa láctea representa aproximadamente el 3% de la composición de la leche y se produce principalmente en las células secretoras de la glándula mamaria. Se presenta en forma de partículas emulsionadas o suspendidas en diminutos glóbulos microscópicos de 0.1 a 0.22 micrones de diámetro. Estos glóbulos están rodeados por una capa de fosfolípidos que evita que la grasa se aglutine y se separe. La luz, el oxígeno y las enzimas, como las lipasas, pueden alterar la grasa láctea. Los procesos hidrolíticos oxidativos pueden producir peróxidos, aldehídos, cetonas y ácidos grasos libres, lo que altera el sabor y puede tomar un olor sebáceo o rancio (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 4).

2.2.6. Elementos minerales

En la leche de vaca se encuentra potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, fósforo, hierro, cobalto, cobre, fluoruros y yoduros. Además, se observa una mayor concentración de calcio, hierro, cobre, magnesio, manganeso, fósforo y zinc se identifica la presencia de otros elementos en cantidades mínimas, como aluminio, molibdeno y plata en la membrana de los glóbulos grasos (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 5).

2.2.7. Vitaminas

La composición vitamínica de la leche abarca vitaminas como la A, D, E, K, B1, B2, B6, B12 y C, junto con carotenos, nicotinamida, biotina y ácido fólico, y su concentración puede variar significativamente. El calostro, por otro lado, exhibe una notable abundancia de vitaminas, conteniendo entre 5 y 7 veces más vitamina C, y entre 3 y 5 veces más vitaminas B2, D y E en comparación con la leche normal (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 5).

2.2.8. Enzimas

Las enzimas presentes en la leche son empleadas con fines de inspección y control, dado que varias de ellas impactan en la calidad de la leche y están vinculadas a diversas alteraciones. Sin embargo, desde la perspectiva alimentaria, las enzimas de la leche carecen de valor nutricional, especialmente para organismos ya completamente desarrollados. Las enzimas lácteas tienen su origen tanto en procesos corporales como en la actividad enzimática (Agudelo y Bedoya 2005, pág. 5).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo de la investigación, se dará a conocer los métodos, instrumentos e insumos empleados para extraer la caseína de la leche y llevar a cabo el desarrollo de la fibra textil a partir de dicho componente.

3.1. Enfoque de Investigación

El presente trabajo de integración curricular tiene un enfoque de investigación mixto (cuantitativo y cualitativo) puesto que trata de identificar los parámetros adecuados para poder extraer la caseína con la cual se realizará la fibra textil ecológica además se pretende determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra textil.

3.1.1. *Enfoque Cuantitativo*

En esta investigación se desarrollará un enfoque cuantitativo, debido a que se realizará la caracterización de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra textil.

3.1.2. *Enfoque Cualitativo*

En este enfoque se realizará el método cualitativo, puesto que se identificará los parámetros adecuados para poder extraer la caseína con la cual se podrá desarrollar la fibra textil.

3.2. Nivel de Investigación

El enfoque de esta investigación se define como exploratorio y descriptivo, ya que busca detallar el método más efectivo para obtener caseína a partir de la leche, con el propósito final de elaborar fibra textil mediante procesos fisicoquímicos. La naturaleza exploratoria se manifiesta en la revisión exhaustiva de artículos especializados como base teórica. Esta revisión proporcionará un marco contextual que permitirá identificar las tendencias y enfoques previos en el campo. Además, el componente experimental del proyecto implica una exploración práctica, donde se llevarán a cabo experimentos para determinar la mejor manera de desarrollar la fibra textil.

Por otro lado, la perspectiva descriptiva se evidencia en la metodología, donde se detallará minuciosamente el proceso para desarrollar la fibra textil. Este enfoque descriptivo garantiza una presentación clara y completa de cada paso, desde la extracción de la caseína hasta la transformación en fibra textil, permitiendo una comprensión detallada del método seleccionado.

3.3. Diseño de Investigación

El diseño propuesto en el presente tema de investigación es de tipo completamente experimental por bloques con el propósito de encontrar el mejor método de extracción de la caseína de la leche la cual posteriormente se desarrollará la fibra textil sostenible, a la cual se realizará el análisis de caracterización de fibra para determinar ciertos parámetros que se tomará en cuenta para verificar las propiedades de esta.

En el desarrollo de este diseño se toma en cuenta los procesos fisicoquímicos como: la coagulación ácida, la neutralización, el lavado del coágulo, el triturado y tamizado, mientras que el filtrado y secado son procesos físicos.

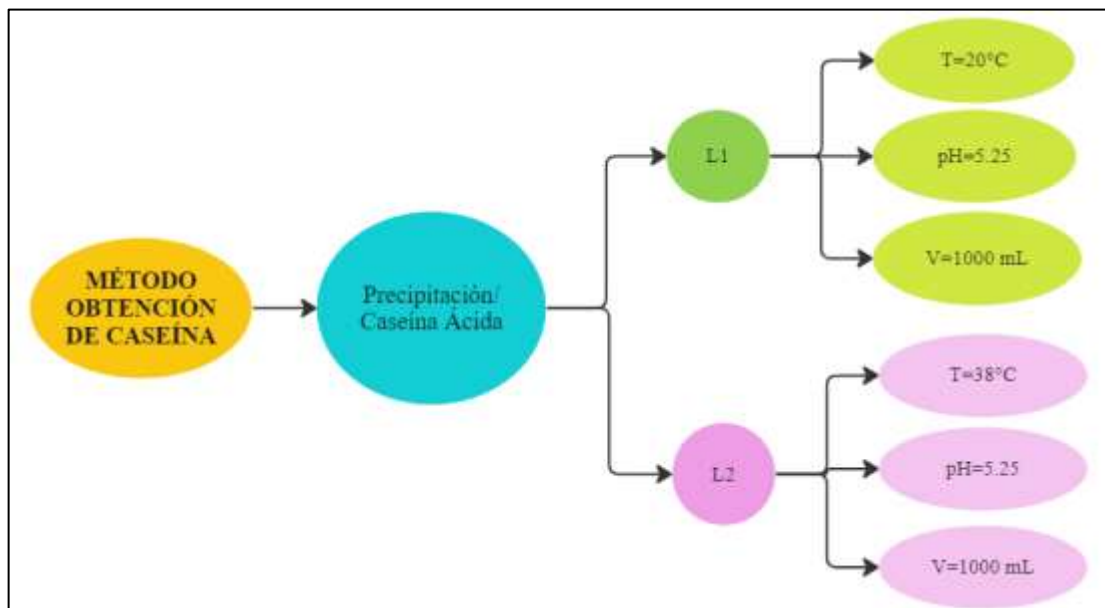


Ilustración 3-1: Diseño experimental para obtener caseína ácida.

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con la ilustración del diseño experimental para obtener la caseína ácida, se va a partir por la precipitación o coagulación ácida de la leche con ácido acético (CH_3COOH), la cual obtendremos dos lotes de caseína: L1 a 20°C; L2 a 38°C donde la temperatura será la variable

controlada por otro lado se precipitará hasta que alcance un pH de 5.25, para poder identificar con que lote de caseína resulta mejor la fibra textil.

A continuación, en la ilustración 3-2 se puede observar las variables independientes como la temperatura y la concentración de NaOH a utilizar para poder desarrollar la fibra textil.

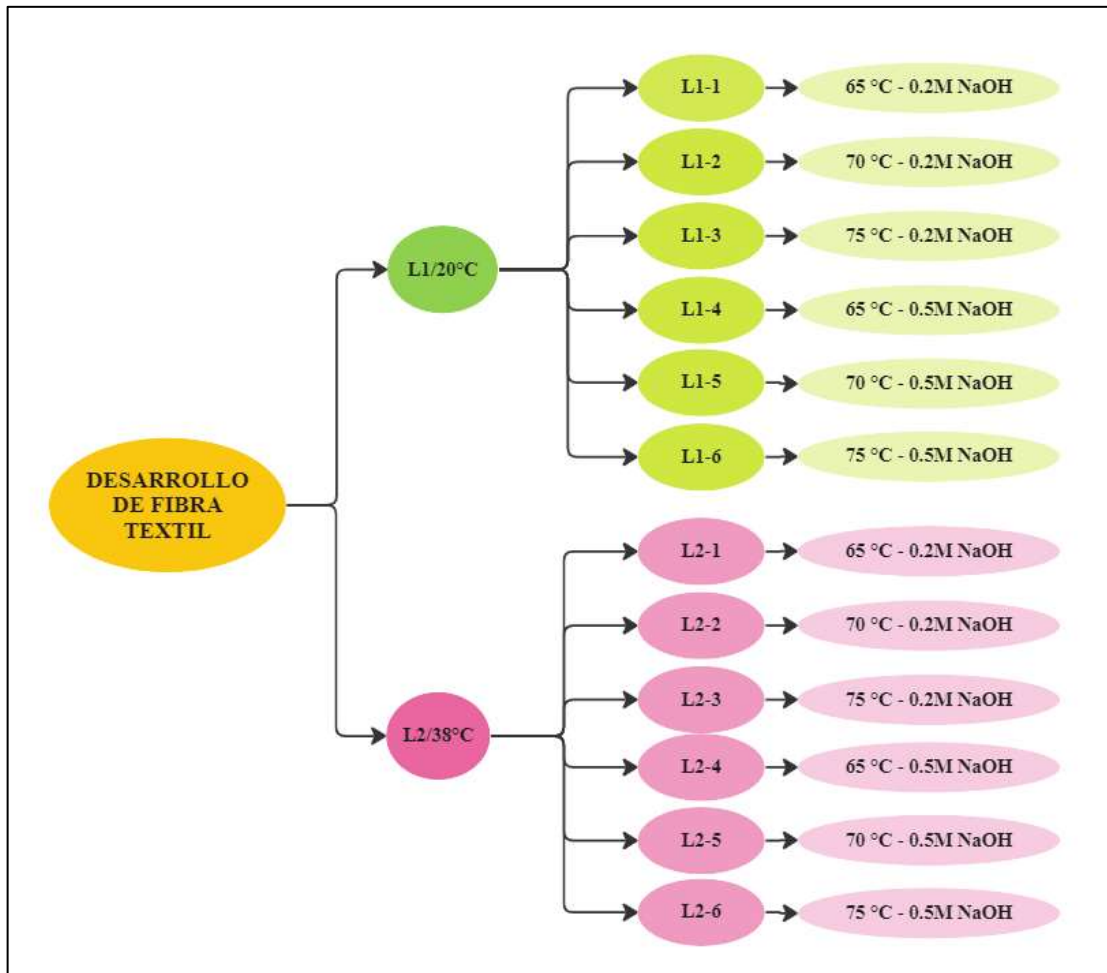


Ilustración 3-2: Diseño experimental para desarrollar la fibra textil

Realizado por: Llano, D., 2024

Para el desarrollo de la fibra textil partimos de los diferentes lotes de caseína que se encuentran precipitadas a un pH de 5.25, a temperaturas de 20 y 38°C. Se realiza una mezcla de agua destilada en la misma proporción que glicerina, posteriormente se adiciona la caseína, luego el NaOH al 0.5M y 0.2M respectivamente del tratamiento, seguidamente se calienta lentamente la mezcla hasta 65, 70 y 75°C dependiendo el tratamiento a seguir, se coloca en una placa y se seca en una estufa a 45°C.

Tabla 3-1: Diseño de investigación por lotes

Bloque	Método de obtención de caseína	Proceso de elaboración de fibra	Tipo de caseína
L1	1	L1-1	A
L1	1	L1-2	A
L1	1	L1-3	A
L1	1	L1-4	A
L1	1	L1-5	A
L1	1	L1-6	A
L2	2	L2-1	A
L2	2	L2-2	A
L2	2	L2-3	A
L2	2	L2-4	A
L2	2	L2-5	A
L2	2	L2-6	A

Realizado por: Llano, D., 2024

Donde:

L1: es el primer lote de caseína.

L2: es el segundo lote de caseína.

1: caseína ácida (CH₃COOH) a un pH de 5.25 a 20°C.

2: caseína ácida (CH₃COOH) a un pH de 5.25 a 38°C.

L1-1: 1 ml de NaOH al 0.2M a 65°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L1-2: 1 ml de NaOH al 0.2M a 70°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L1-3: 1 ml de NaOH al 0.2M a 75°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L1-4: 1 ml de NaOH al 0.5M a 65°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L1-5: 1 ml de NaOH al 0.5M a 70°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L1-6: 1 ml de NaOH al 0.5M a 75°C – realizada con la caseína del método 1 del L1.

L2-1: 1 ml de NaOH al 0.2M a 65°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

L2-2: 1 ml de NaOH al 0.2M a 70°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

L2-3: 1 ml de NaOH al 0.2M a 75°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

L2-4: 1 ml de NaOH al 0.5M a 65°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

L2-5: 1 ml de NaOH al 0.5M a 70°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

L2-6: 1 ml de NaOH al 0.5M a 75°C – realizada con la caseína del método 2 del L2.

A: caseína ácida

3.4. Formulación para obtener la caseína a partir de leche entera.

En la Tabla 3-2 se puede observar más detalladamente las variables que se van a controlar y variar para poder obtener la caseína ácida a partir de 1000 ml de leche para cada Lote, a un pH de 5.25 y temperaturas de 20 y 38°C.

Tabla 3-2: Formulación para obtención de la caseína.

LOTE	Variables Independientes		Variable Dependiente
	T (°C)	pH	Cantidad de Caseína (g)
L1	20	5.25	44
L2	38	5.25	54

Realizado por: Llano, D., 2024

En la Tabla 3-3 se puede mirar más minuciosamente las variables que se van a controlar y variar para poder desarrollar la fibra textil a temperaturas de (65-70-75°C) y concentraciones de 0.2 y 0.5M NaOH.

Tabla 3-3: Formulación para el desarrollo de la fibra textil a partir de la caseína.

LOTE	Codificación	Variables Controladas			Variables Independientes				
		Glicerina (ml)	Agua destilada (ml)	Caseína (g)	T (°C)			NaOH (1ml)	
					65	70	75	0.2 M	0.5 M
L1	L1-1	2	2	1	✓	-	-	✓	-
	L1-2	2	2	1	-	✓	-	✓	-
	L1-3	2	2	1	-	-	✓	✓	-
	L1-4	2	2	1	✓	-	-	-	✓
	L1-5	2	2	1	-	✓	-	-	✓
	L1-6	2	2	1	-	-	✓	-	✓
L2	L2-1	2	2	1	✓	-	-	✓	-
	L2-2	2	2	1	-	✓	-	✓	-
	L2-3	2	2	1	-	-	✓	✓	-
	L2-4	2	2	1	✓	-	-	-	✓
	L2-5	2	2	1	-	✓	-	-	✓
	L2-6	2	2	1	-	-	✓	-	✓

Realizado por: Llano, D., 2024.

3.5. Identificación de Variables

En esta sección, se describen las variables que serán objeto de estudio en la investigación.

3.5.1. Variables Dependientes

A continuación, se mencionan las variables dependientes en general de la investigación:

- Producto - Caseína ácida
- Calidad de fibra.

3.5.2. Variables independientes

Adicionalmente, se explorarán las siguientes variables independientes que podrían influir en los resultados:

- Método de optimación de la caseína.
- Proceso de elaboración de la fibra.

3.6. Tipo de estudio

El propósito fundamental del trabajo de integración curricular es la creación de una fibra textil sostenible a partir de la caseína presente en la leche, empleando procesos fisicoquímicos. En este contexto, el enfoque del proyecto es de índole experimental - documental, ya que se llevarán a cabo diversas pruebas con el objetivo de documentar y discernir el método más eficiente para la obtención de la fibra textil deseada. Este proceso de investigación y análisis se llevará a cabo en los laboratorios especializados de la Facultad de Ciencias, asegurando un entorno propicio para la experimentación y la obtención de resultados concluyentes.

3.7. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra.

En esta sección, se detalla la cantidad de materia prima necesaria y la que se obtendrá para llevar a cabo el desarrollo de la fibra textil.

La Población de estudio consiste en los 44 gramos de caseína del L1 y 54 gramos del L2, destinados al desarrollo de la fibra textil. En cuanto a la muestra, se establece que el número de muestras a seleccionar será equivalente al número de tratamientos experimentales planificados,

que es un total de 18 gramos para cada Lote. Por lo que, para cada tratamiento se utilizará 1 gramo de caseína, resultando 36 gramos de polvo de caseína total para la muestra.

3.8. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Las fibras lácteas, además de producirse con técnicas sostenibles y cuidando del medioambiente, tienen el fin de ayudar a las personas que sufren de alergias y otras enfermedades en las que la piel reacciona a los productos químicos usados en la industria textil.

Investigando para hallar fibras naturales, la científica Anke Domaske dio con la caseína, una de las proteínas de las que está compuesta la leche (Kutsche y Papaleo 2011, pág. 1).

3.8.1. *Obtención de caseína por precipitación/ácido acético*

Para la obtención de la caseína, se lleva a cabo un proceso fisicoquímico detallado en varios pasos. Inicialmente, se parte de leche entera pasteurizada, y se realizan dos lotes diferenciados. En el primer lote (L1), se mantiene la leche a temperatura ambiente (20°C), mientras que en el segundo lote (L2), se eleva la temperatura a 38°C.

En ambos lotes, se añade ácido acético hasta alcanzar un pH de 5.25. Este paso es crucial para precipitar la caseína, y se permite que este proceso ocurra durante un día. Posteriormente, se lleva a cabo la filtración del precipitado, seguido de un lavado meticuloso con etanol (40 ml) y agua destilada (80 ml). Una vez completada esta etapa, se procede a pesar el material filtrado.

La caseína obtenida se coloca en bandejas de aluminio y se somete a un proceso de secado en un secador de bandejas a una temperatura de 60°C. Después de este proceso, la caseína se tritura y tamiza mediante un tamiz de 250 micras para obtener una consistencia y tamaño de partículas adecuados.

Finalmente, se pesa para determinar la cantidad exacta de caseína obtenida a partir de la leche.

A continuación, se detalla un diagrama de flujo del proceso.

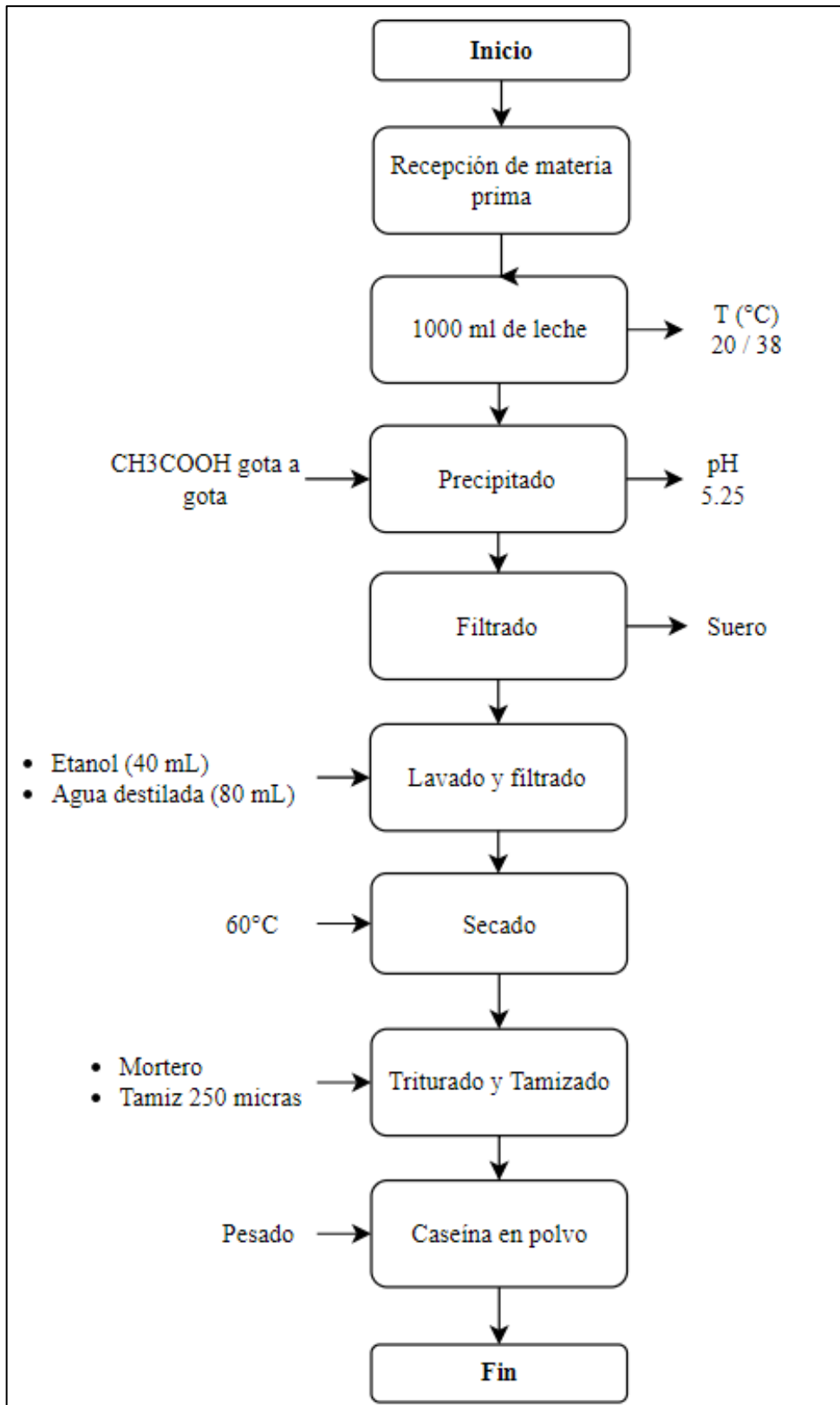


Ilustración 3-3: Esquema de extracción de caseína a 20°C y 38°C.

Fuente: Barriga y López 2016; Farfán et al. 2023; Álvarez y Mejía, 2016.

Realizado por: Llano, D., 2024.

3.8.1.1. Caracterización de la caseína.

A continuación, se describen los análisis para la caracterización de la caseína:

Tabla 3-4: Metodología para el análisis de humedad de la caseína.

ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE CASEÍNA	
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none">• El valor de humedad que proporciona la termobalanza es directo.• Se enciende el equipo.• Pesamos 2 gramos de caseína después de haber sido secada.• Se levanta la tapa de la termobalanza y se coloca la muestra.• Se tapa el equipo.	
Cálculo:	
<ul style="list-style-type: none">• El equipo mediante un sonido avisa que la muestra está lista.• El porcentaje de humedad aparece en la pantalla del equipo.	
(Cuenca 2022, pág. 31)	
Realizado por: Llano, D., 2024	

Tabla 3-5: Metodología para el análisis de ceniza de la caseína.

ANÁLISIS DE CENIZA	
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none">• Se pesa un crisol.• El crisol se coloca en la mufla hasta que alcance una temperatura de 550 °C por 3 horas.• Se coloca en el desecador para que se enfríe aproximadamente por media hora.• Se pesa nuevamente hasta que el crisol logre tararse es decir un peso constante.• Se coloca 1 gramo de la materia prima.• Pesamos con la caseína.• Se coloca en el reverbero para que empiece a quemar y transformarse en ceniza.• Esta lista cuando deja de salir humo de la muestra.• Se coloca en la mufla por 3 horas.• Luego se coloca en el desecador para que se enfríe por una hora.• Se pesa nuevamente hasta obtener un peso constante.	
Cálculo:	
$\% \text{ de } C = \frac{m_2 - m_c}{m_1 - m_c} * 100$	
Donde:	
% de C = porcentaje de cenizas totales (%)	
m₁ = masa del crisol con la muestra (g)	
m₂ = masa del crisol con la ceniza (g)	
m_c = masa del crisol vacío (g)	
(Cuenca 2022, pág. 32)	
Realizado por: Llano, D., 2024	

3.8.1.2. Normativa para la caseína de la leche.

La caseína de la leche de acuerdo con la normativa de (CODEX ALIMENTARIUS 2022, pág. 2), debe presentar ciertos parámetros que se tomarán en cuenta para la caracterización de la caseína.

A continuación, en la Tabla 3-6 se detalla los parámetros con sus respectivos porcentajes.

Tabla 3-6: Parámetros para el análisis de la caseína.

Parámetros	Caseína Ácida
Contenido mínimo de proteína de leche en el extracto seco.	90.0 %
Contenido mínimo de caseína en la proteína de leche.	95.0%
Contenido máximo de agua	12.0%
Contenido máximo de grasa de leche.	2.0%
Cenizas.	2.5% (máx.)
Contenido máximo de lactosa.	1.0%
Valor máximo del pH.	-

Fuente: CODEX ALIMENTARIUS, 2022.

Realizado por: Llano, D., 2024

3.8.2. Proceso de desarrollo de fibra textil.

Para la elaboración de la fibra textil, se inicia con los distintos lotes de caseína. En una primera fase, se mezcla una cantidad uniforme de agua destilada y glicerina, después se agrega caseína. Luego, se agrega la solución de NaOH a (0.2 - 0.5 M) de acuerdo con el tratamiento a realizar.

La mezcla resultante se somete a agitación y, posteriormente, se lleva a cabo un calentamiento a diferentes temperaturas según las especificaciones del procedimiento. Opcionalmente, se puede introducir un agente reticulante, para mejorar las propiedades de la fibra.

La fase final consiste en verter la mezcla en una placa previamente recubierta con glicerina y dejar que seque en la estufa a 45°C. A continuación, se ilustra el proceso en un diagrama de flujo.

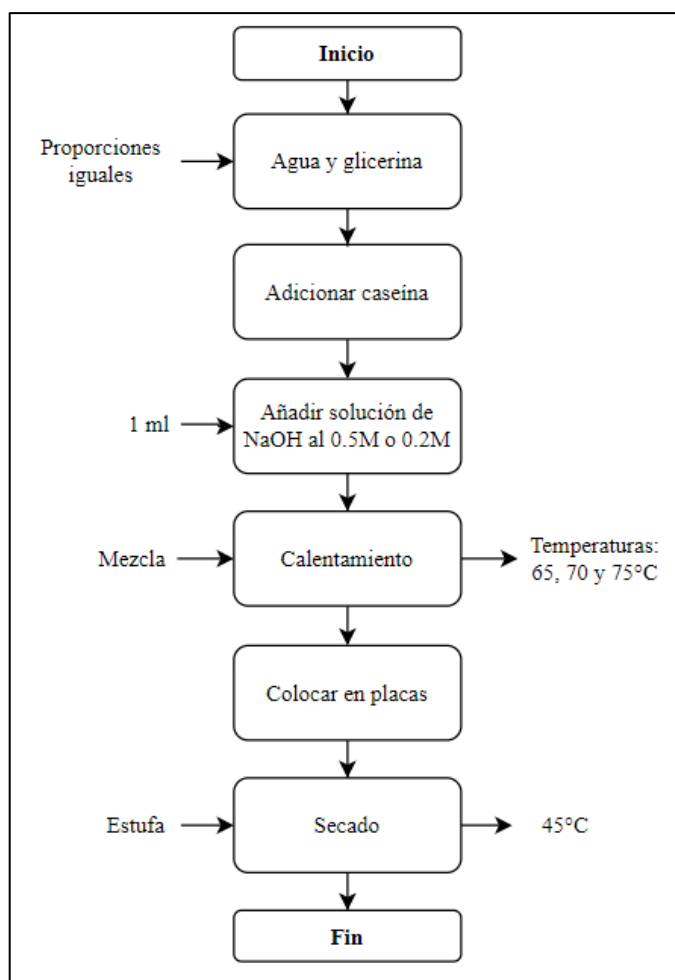


Ilustración 3-4: Proceso para desarrollar la fibra textil.

Fuente: Bier et al., 2017.

Realizado por: Llano, D., 2024

3.8.2.1. Caracterización de la fibra textil.

A continuación, se describen los análisis para la caracterización de la fibra textil:

Tabla 3-7: Análisis de reacción a la llama de fibra textil.

ANÁLISIS DE REACCIÓN A LA LLAMA DE LA FIBRA TEXTIL
Procedimiento:
<ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra de 2*2 con ayuda de una pinza. • Aproximar hacia una llama pequeña la muestra. • Observar si se funde o se encoge. • La muestra introducir en la llama. • Observar si arden mientras sigue la llama. • Posteriormente retirar de la llama lentamente y observar si continúa quemándose fuera de la llama, tener en cuenta que la muestra debe estar en ignición. • Seguidamente apagar la llama y oler el humo, se debe anotar el olor, color del residuo.

(INEN 2010, pág. 7)

Realizado por: Llano, D., 2024

Tabla 3-8: Análisis de solubilidad de la fibra textil.

ANÁLISIS DE SOLUBILIDAD DE LA FIBRA TEXTIL	
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none">• Pesar 0.01 gramos de fibra.• Colocar en un vaso de precipitación la muestra.• Añadir 1 ml de solvente de ensayo.• Observar si la fibra se disuelve completamente o caso contrario permanece insoluble, o si se ablanda hasta convertirse en una masa plástica.	
(INEN 2010, págs. 7-8)	
Realizado por: Llano, D., 2024	

Tabla 3-9: Análisis de tracción de la fibra textil

ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	
Procedimiento:	
<ul style="list-style-type: none">• Las muestras de fibra se obtienen de las medidas específicas.• Se mide con el calibrador el espesor, ancho y largo de la muestra.• Posteriormente se coloca en el equipo Universal.• La muestra se empieza a estirar hasta llegar al punto de romperse.• Finalmente, los datos son registrados.	
Realizado por: Llano, D., 2024	

3.8.2.2. Normativa para la caracterización de la fibra textil

La fibra textil de acuerdo con la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 527:2010 INEN (2010), debe presentar ciertos parámetros que se tomarán en cuenta para la caracterización de esta, teniendo en cuenta de las fibras artificiales debido a que se encuentra en esta clasificación de fibra proteica.

A continuación, en las Tablas 3-10, 3-11, 3-12 y 3-13 se detalla los parámetros de propiedades físicas, químicas y mecánicas de las fibras textiles artificiales.

Tabla 3-10: Propiedades físicas de la fibra textil.

	Estructura	Color
Fibra proteica de leche	Tiene una bonita estructura. La estructura es lisa.	Tiene color amarillo claro a blanco natural.

Fuente: (Chávez 2022)

Realizado por: Llano, D., 2024

Chávez 2022, (págs. 48-51) describe que, la caseína absorbe fácilmente el agua y las fibras se hinchan y suavizan. A medida que se aumenta la temperatura, se vuelven plásticos y pegajosos. El grado de recuperación en condiciones estándar es de aproximadamente 14%. Las fibras de caseína, en particular, se ablandan cuando se calientan, cuando están mojados. Cuando se calientan las fibras

a más de 100 °C se vuelven quebradizas y amarillas. A 150°C se evidencia la degradación. En el aire, las fibras de caseína arden lentamente.

Tabla 3-11: Reacción a la llama de la fibra textil.

Fibra artificial - Proteica	Se funde cerca de la llama	Se contrae y aleja de la llama	Arde con la llama	Continúa quemando al retirar la llama	Apariencia de ceniza
Rayón	No	No	Si	Si	Ninguna
Acetato	Si	Si	Si	Si	Bolita de forma irregular dura y negra
Caucho	Si	Si	Si	No	Masa irregular

Fuente: INEN, 2010.

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con (Chávez 2022, págs. 48-51) menciona que, la caseína es estable ha ácidos moderadamente fuertes bajo condiciones normales. Puede carbonizarse con una solución ácida fría de ácido sulfúrico al 2%. Las fibras de caseína se descomponen en ácidos minerales fuertes. Es resistente a los ácidos minerales diluidos y ácidos orgánicos débiles, incluso en altas temperaturas, ciertos eventos pueden ocurrir pérdida de fuerza y fragilidad después de una cocción prolongada de tiempo. Los álcalis afectan la caseína. A menores temperaturas, los álcalis sueves, como el bicarbonato de sodio y el fosfato de hidrógeno disódico, tienen poca influencia. Los álcalis activos, como la sosa cáustica o la ceniza de sosa, que causan una hinchazón significativa y desintegran la fibra.

Tabla 3-12: Propiedades Químicas: Solubilidad de fibras.

Parámetro	Ácido acético	Acetona	Ácido fórmico	Ácido sulfúrico
Concentración (%)	100	100	85	70
Temperatura (°C)	20	20	20	20
Tiempo (min)	5	5	5	20
Rayón	I	I	I	S
Acetato	S	S	S	S

Fuente: INEN, 2010.

Realizado por: Llano, D., 2024

Donde:

I: es insoluble

S: es soluble

Tabla 3-13: Propiedades Mecánicas de Fibra.

	Resistencia a la tracción	Alargamiento
Fibra de caseína	Tenacidad en seco de 9.7-8.0 cN/tex (1.1 – 0.9 g/den). Tenacidad en húmedo de 5.3-2.6 cN/tex (0.6 – 0.3 g/den).	En seco y húmedo 60-70%

Fuente: (Chávez 2022)

Realizado por: Llano, D., 2024

3.9. Viabilidad técnica y económica

3.9.1. Viabilidad Técnica

A diferencia de los estudios de (Bier et al. 2016, págs. 2-5; 2017, págs. 2-5) que utilizan electrohilado, esta investigación desarrolló fibras textiles no tejidas a partir de la caseína sin necesidad de equipos especializados. La técnica empleada se basa en obtener caseína ácida como definen (Hammam, Martínez and Metzger 2021, págs. 11–13) que permite obtener fibras con características similares a los que menciona (Chávez 2022, págs. 48-51).

Tabla 3-14: Viabilidad Técnica

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Disponibilidad de materia prima.	La caseína es un producto abundante.
Calidad de la caseína	Debe ser de alta calidad.
Cantidad de caseína en preparación	Debe ser en gran cantidad para poder garantizar gran volumen de fibra.
Tiempo de secado de caseína.	Debe ser menor tiempo para evitar costos.
Formulación para desarrollar la fibra.	Una vez extraída la caseína es fácil el proceso.
Potencial de aplicación	Las fibras deben tener una variedad de aplicación en la industria textil.

Realizado por: Llano, D., 2024.

En la Tabla 3-14 se puede observar los parámetros que se va a considerar para poder ver si tiene viabilidad técnica o no es factible realizar.

3.9.2. Viabilidad Económica

De acuerdo con la investigación realizada se va a mostrar que tan viable es en el ámbito económico el presente proyecto, donde se tomará en cuenta lo siguiente:

Tabla 3-15: Viabilidad Económica

CUENTAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	
			g	ml
Costos de producción				
Caseína	Se obtiene a partir de leche entera pasteurizada	2	36	
Glicerina		6		72
Agua destilada		1		72
NaOH	Al 0.2 y 0.5 M	1		36
Mano de obra directa	Persona que está directamente relacionada con el proceso	1		
Equipos				
Secador de bandejas		1		
Reverbero		1		
Estufa		1		
Costos indirectos				
Recipientes	Cajas Petri	36		
Etiquetas	Para poder rotular las muestras	1		
Energía eléctrica		1		
Suministro de limpieza	Jabón, guantes	2		
Mercado objetivo	Industria textil			

Realizado por: Llano, D., 2024.

En la Tabla 3-15 se puede observar los parámetros que se va a considerar para poder ver si tiene viabilidad técnica o no.

3.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico juega un papel crucial en la evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra textil sostenible desarrollada a partir de la caseína de la leche. Se llevará a cabo un análisis cualitativo para las propiedades físicas y químicas, mientras que se empleará un enfoque cuantitativo para evaluar las propiedades mecánicas.

3.10.1. Análisis estadístico cualitativo

El análisis cualitativo se centrará en las propiedades físicas y químicas clave, como el de espesor, solubilidad y reacción a la llama. Estas propiedades ofrecen información valiosa sobre la utilidad y seguridad de la fibra textil. Se utilizarán tablas de frecuencia y diagramas de columnas para visualizar y analizar los datos recolectados.

El uso de tablas de frecuencia facilitará la identificación de patrones y tendencias en los datos relacionados con cada propiedad. Los diagramas de columnas proporcionarán una representación visual clara de los resultados lo que facilitará la interpretación de los hallazgos y la comunicación de los resultados a los interesados.

3.10.2. Análisis estadístico cuantitativo

Para evaluar las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, se empleará un análisis estadístico cuantitativo. La resistencia a la tracción es una medida crítica de la calidad y durabilidad de la fibra textil, por lo que es fundamental realizar un análisis detallado de estos datos.

Se utilizará el análisis de varianza ANOVA con ayuda del programa MINITAB con el nivel de significancia del 0.05 para comparar las diferencias en la resistencia a la tracción entre diferentes muestras de fibra textil. Este enfoque permitirá determinar si existen diferencias significativas con relación a la resistencia a la tracción entre grupos de muestras, como aquellas producidas utilizando diferentes procesos de fabricación o método de obtención de caseína.

Al emplear el ANOVA, se podrán identificar factores que pueden influir en la resistencia a la tracción, como la composición química de la fibra textil o las condiciones de procesamiento. Esto proporcionará información valiosa para optimizar el proceso de producción y mejorar la calidad del producto final.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Obtención de Caseína

Para la obtención de la caseína se utilizó 1000 ml de leche por cada lote a temperaturas de 20 y 38°C acidificando a un pH de 5.25. Se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la Tabla 4-1 que se presenta a continuación:

Tabla 4-1: Cantidad de caseína obtenida por cada Lote.

LOTE	T (°C)	pH	V. Leche (ml)	Cantidad de Caseína (g)
L1	20	5.25	1000	44
L2	38	5.25	1000	54

Realizado por: Llano, D., 2024.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 4-1, se observa que para el Lote 1, la precipitación se realizó a un pH de 5.25 a una temperatura de 20°C (temperatura ambiente). Después de completar todo el proceso de filtrado, lavado y secado, se obtuvo una cantidad de caseína de 44 gramos.

Por otro lado, para el Lote 2, la precipitación se llevó al mismo pH a una temperatura de 38°C. Posteriormente, se obtuvo una cantidad de caseína de 54 gramos, después de haber realizado todo el proceso.

Estos resultados revelan una clara influencia de la temperatura en la cantidad de caseína obtenida. A una temperatura de 38°C, se observa una mayor producción de caseína. Esto se debe a que, a esta temperatura, la leche se acidifica más rápidamente, lo que acelera tanto el proceso de acidificación y precipitación.

Es importante destacar que en el caso del Lote 2, se utilizó menos ácido acético en comparación con el Lote 1. Esto sugiere que el método empleado en el Lote 2 es más eficiente para la obtención de caseína, ya que se logra obtener una mayor cantidad de producto utilizando menos recursos químicos.

4.1.1. Resultados obtenidos de la caracterización de la proteína.

En la Tabla 4-2 se presentan los resultados obtenidos para la caracterización de la leche de cada lote, utilizando el equipo LACTOSCAN MILKANALYZER de la Facultad de Ciencias del Laboratorio de Bromatología.

Tabla 4-2: Parámetros obtenidos para la caracterización de la leche.

LOTE	GRASAS (F)	DENSIDAD (D)	CASEÍNA (C)	SÓLIDOS TOTALES (S)	PROTEÍNA (P)	LACTOSA (L)	SAL (S)	AGUA (A)
L1	3.59	6.9	3.71	2.54	1.01	1.33	0.19	6.13
L2	3.82	6.66	3.62	2.52	1	1.32	0.19	6.34

Realizado por: Llano, D., 2024.

Respecto a los datos obtenidos en la Tabla 4-2, se puede realizar una comparación con los parámetros establecidos por la Norma de (CODEX ALIMENTARIUS 2022). En la Tabla 4-3 se presenta dicha comparación, donde se observa que ciertos parámetros cumplen con los estándares establecidos, mientras que otros muestran diferencias poco significativas.

Tabla 4-3: Caracterización de la leche respecto a la Norma de Codex Alimentarius 2022.

Parámetros	CASEÍNA		(CODEX ALIMENTARIUS 2022)
	L1	L2	Caseína Ácida
Contenido mínimo de proteína de leche en el extracto seco.	80.34	76.15	90.00%
Contenido mínimo de caseína en la proteína de leche.	3.71	3.62	95.00%
Contenido máximo de agua	6.13	6.34	12.00%
Contenido máximo de grasa de leche.	3.59	3.82	2.00%
Cenizas.	1.939	1.699	2.5% (máx.)
Contenido máximo de lactosa.	1.33	1.32	1.00%
Humedad	2.776	2.768	-
Valor máximo del pH.	-	-	-

Realizado por: Llano, D., 2024.

De acuerdo con la operación unitaria de secado, se presentan en la Tabla 4-4 los datos de la cantidad inicial y final de la caseína para cada Lote. Se utilizó un secador de bandejas a una temperatura constante de 60°C durante un período de 16 horas. Además, se registra el rendimiento de la caseína obtenida, el cual fue del 60.71% y 63.76% para cada lote respectivamente.

Tabla 4-4: Datos de la operación de secado de caseína.

LOTE	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Tiempo (H)	T (°C)	Rendimiento (%)
L1	112	44	16	20	60.71
L2	149	54	16	38	63.76

Realizado por: Llano, D., 2024.

Nota: En la sección de Anexos se presentará una tabla más detalla de tiempos y cantidades de la muestra durante el proceso de secado.

Estos resultados indican que, durante el proceso de secado, se produjo una reducción significativa en la masa inicial, lo que sugiere la eliminación de la humedad presente en el producto. Además, se observa una diferencia en el rendimiento de la caseína entre los dos lotes, lo que podría atribuirse a variaciones en la temperatura de acidificación.

Conforme a los datos obtenidos (Ver. Anexo C) del Lote 1, se presentan las diferentes curvas de secado en la Ilustración 4-1.

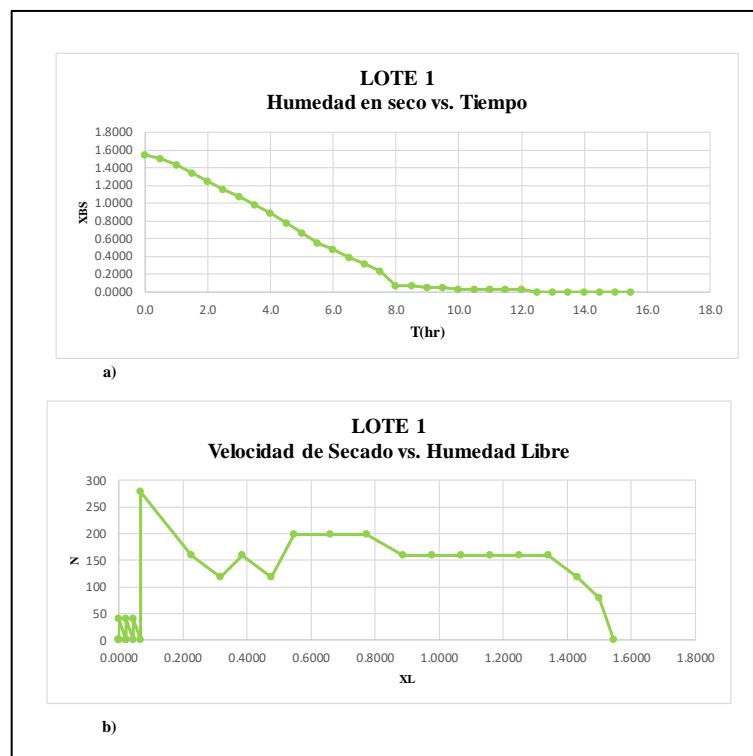


Ilustración 4-1: Curva de secado y Velocidad del L1.

Realizado por: Llano, D., 2024

- a) Se observar que después de 15 horas, la caseína alcanza un estado de completa sequedad, partiendo de un total de 112 gramos (para 1000 ml) hasta que se obtuvo 44 gramos al finalizar

el proceso de secado. El rendimiento de este proceso es de 60.71%, lo que indica una eficiente eliminación de la humedad presente en la caseína.

- b) Además, se muestra la velocidad de secado, donde empieza en el punto cero de velocidad con una humedad libre de 0.0227, a partir de la humedad libre (XL) de 0.8864 hasta 1.3409 la velocidad es constante de 297.6190, y presenta velocidades constantes o repentinamente que varían de acuerdo con la humedad libre.

En la Ilustración 4-2, se presentan las siguientes curvas conforme al Anexo D del Lote 2:

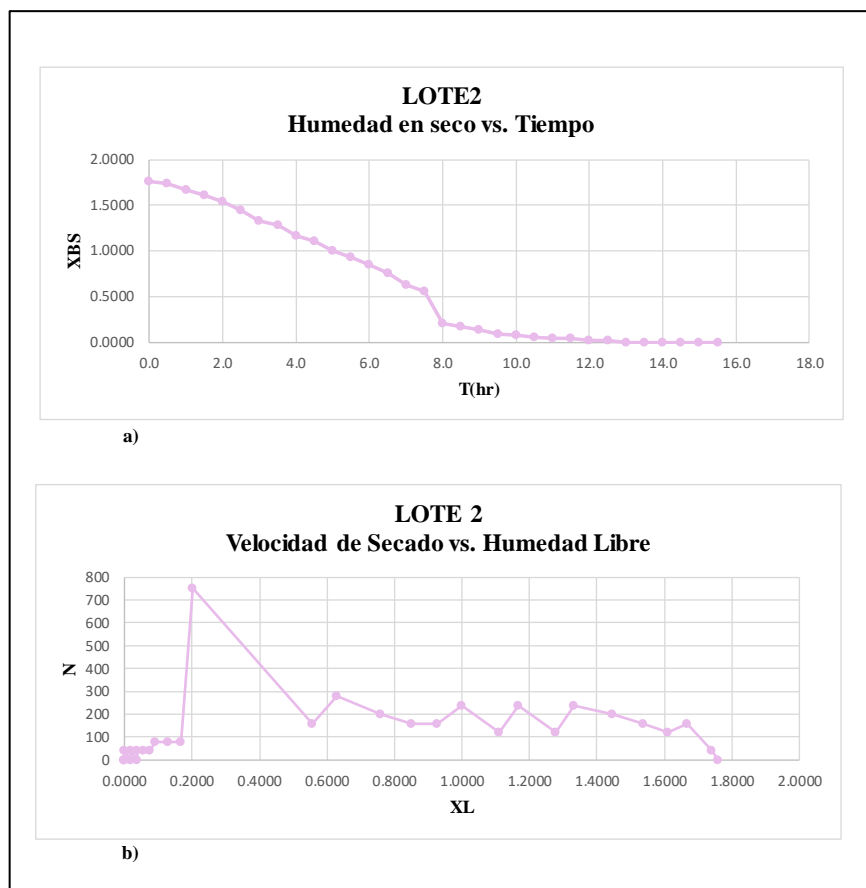


Ilustración 4-2: Curva de secado y Velocidad del L2.

Realizado por: Llano, D., 2024

- a) Se observa que después de 15 horas, la caseína alcanza un estado completamente seco. Se partió con un total de 149 gramos (para 1000 ml) y se obtuvieron 54 gramos después al finalizar el proceso de secado. El rendimiento de este proceso es de 63.76%, lo que indica que sigue siendo un buen rendimiento.

- b) Además, en la ilustración se observa que la velocidad de secado varía durante el proceso. Inicia desde cero cuando la humedad libre de 0.0185, luego se mantiene constante a una velocidad de 238.0952 desde XL de 1.0000 hasta 1.3333. Este comportamiento nos muestra cómo la velocidad se relaciona con la humedad libre a lo largo del proceso de secado.

4.1.2. Resultados obtenidos de la caracterización de la película textil.

Conforme a los resultados alcanzados, se obtuvieron películas en lugar de fibra. Diversos factores influyeron en el desarrollo, lo que impidió la elaboración de la fibra. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de la película textil. En la Tabla 4-5 se muestran las propiedades físicas de la película.

Tabla 4-5: Resultados respecto a las propiedades físicas de la película.

Codificación	Estructura (Lisa)	Espesor (mm)	Color
L1-1	SI	0.80	Amarillo claro
L1-2	SI	0.78	Amarillo claro
L1-3	SI	0.81	Amarillo claro
L1-4	-	-	-
L1-5	-	-	-
L1-6	-	-	-
L2-1	SI	0.79	Crema
L2-2	SI	0.79	Crema
L2-3	SI	0.80	Amarillo claro
L2-4	-	-	-
L2-5	-	-	-
L2-6	-	-	-

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que la película presenta una estructura lisa, con un espesor que varía entre 0.78 a 0.81 mm. Además, el color de la lámina es predominante amarillo claro, aunque se observa otras muestras de color crema.

Estos resultados indican que la película textil desarrollada tiene propiedades físicas consistentes. La estructura lisa y el espesor son características que contribuyen a su manipulación y procesamiento. A continuación, se presenta los resultados del análisis de la reacción a la llama de la lámina textil como se muestra en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Resultados de reacción a la llama de la película.

NaOH (M)	T (°C)	Codificación	Se funde cerca de la llama	Se contrae y aleja de la llama	Arde con la llama	Continúa quemando al retirar la llama	Apariencia de ceniza
0.2	65	L1-1	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	70	L1-2	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	75	L1-3	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
0.5	65	L1-4	-	-	-	-	-
	70	L1-5	-	-	-	-	-
	75	L1-6	-	-	-	-	-
0.2	65	L2-1	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	70	L2-2	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	75	L2-3	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
0.5	65	L2-4	-	-	-	-	-
	70	L2-5	-	-	-	-	-
	75	L2-6	-	-	-	-	-

Realizado por: Llano, D., 2024

Según las características observadas en las películas textiles durante el análisis. Se puede concluir que las láminas son poco resistentes al calor. Se funden rápidamente en la llama y continúan quemándose incluso después de retirar la llama. Al final del proceso, queda una masa negra con apariencia de ceniza.

Estos resultados sugieren que las láminas textiles desarrolladas pueden no ser adecuadas para aplicaciones donde se requiera una alta resistencia al calor. Es importante considerar estas características al determinar los usos potenciales de las películas y al diseñar productos textiles que puedan estar expuestos a altas temperaturas o al fuego.

De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 4-7 del análisis de solubilidad de la película textil, se observa que la lámina es insoluble en ácido acético, acetona, ácido fórmico y ácido sulfúrico. Estos resultados se mantienen constantes a una temperatura de 20°C, diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

Tabla 4-7: Resultados de la solubilidad de la película.

Parámetros	Ácido acético	Acetona	Ácido fórmico	Ácido sulfúrico
Concentración (%)	100	100	85	70
Temperatura (°C)	20	20	20	20
Tiempo (min)	5	5	5	20
L1-1	I	I	I	I
L1-2	I	I	I	I
L1-3	I	I	I	I
L1-4	-	-	-	-
L1-5	-	-	-	-
L1-6	-	-	-	-
L2-1	I	I	I	I
L2-2	I	I	I	I
L2-3	I	I	I	I
L2-4	-	-	-	-
L2-5	-	-	-	-
L2-6	-	-	-	-

Realizado por: Llano, D., 2024

En todos los casos analizados, representados por las diferentes condiciones, se observa que la película textil no se disuelve en ninguno de los solventes utilizados como se indica por la letra “I” en todas las celdas.

Basándose en la observación de la lámina textil y su comportamiento durante la manipulación, se evidencia que presenta poca resistencia al ser despegada de la caja Petri, lo que sugiere una fragilidad y a la necesidad de manipular la película con cuidado para evitar daños, se concluye que la prueba mecánica de resistencia a la tracción no puede llevarse a cabo para la caracterización de la película textil.

Este resultado indica una desventaja en la evaluación de las propiedades mecánicas de la lámina y resalta la importancia de considerar otros métodos para poder mejorar la resistencia de la película.

4.2. Viabilidad Técnica y Económica

Para evaluar la viabilidad técnica y económica de la investigación, se han detallado datos importantes, que abarca los parámetros considerados esenciales durante el desarrollo del proyecto de investigación.

4.2.1. Resultados de la Viabilidad Técnica

De acuerdo con los parámetros de la Tabla 4-8 se toma en cuenta para el análisis de la viabilidad técnica que se puede determinar durante el desarrollo de este proyecto de investigación

Tabla 4-8: Análisis de Viabilidad Técnica

FACTOR	DESCRIPCIÓN	VIABILIDAD	OBSERVACIONES
Disponibilidad de materia prima.	La caseína es un producto poco abundante en la leche, depende del método de extraer.	Media	Poco abundante en la leche.
Calidad de la caseína	Debe ser de alta calidad.	Media	Requiere que cumpla ciertos parámetros para asegurar su calidad.
Cantidad de caseína en preparación	Debe ser en gran cantidad para poder garantizar gran volumen de película.	Media	Depende de la escala de producción.
Tiempo de secado de caseína.	Debe ser menor tiempo para evitar costos.	Baja	Se puede optimizar con tecnología adecuada.
Formulación para desarrollar la película.	Una vez extraída la caseína es fácil el proceso.	Alta	Proceso no es muy complejo para determinar una película de tipo no tejida.
Potencial de aplicación	Las películas deben tener una variedad de aplicación en la industria textil.	Baja	Se requieren más investigaciones para explorar aplicaciones potenciales.
Costo de producción	Se requiere optimizar el proceso para reducir costos.	Media	Se puede mejorar con el desarrollo de la tecnología y la producción a gran escala.

Realizado por: Llano, D., 2024.

La disponibilidad de la materia prima es media, lo que representa una desventaja para la viabilidad técnica del proyecto, debido a que a partir de 1000 ml de leche se obtiene un 50% aproximadamente de caseína. La calidad de caseína y la cantidad de caseína en preparación son factores que requieren una mayor atención para asegurar la viabilidad técnica. El tiempo de secado de la caseína es un factor crítico que debe ser optimizado para reducir costos. La formulación no

es complicada para poder desarrollar una película, sin embargo, para obtener fibra en forma de hilo se requiere buscar nuevas técnicas. El potencial de aplicación de la película textil de caseína se debe explorar más a fondo en diferentes áreas de la industria textil. La optimización del proceso de producción es fundamental para reducir costos y aumentar la competitividad de la lámina.

La viabilidad técnica de la producción de películas textiles a partir de caseína es prometedora. Sin embargo, se necesitan estudios adicionales para optimizar el proceso de producción, mejorar las propiedades de las láminas para que puedan considerarse como fibras en el futuro, y explorar a fondo sus aplicaciones potenciales.

4.2.2. Resultados de la Viabilidad Económica

La Tabla 4-9 presenta un análisis de la viabilidad económica a escala experimental (laboratorio).

Tabla 4-9: Análisis de Viabilidad Económica

CUENTAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD		VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
			g	ml		
COSTOS DE PRODUCCIÓN						
Caseína	Se obtiene a partir de leche entera pasteurizada.	2	36		\$ 1.00	\$ 2.00
Glicerina		6		72	\$ 0.50	\$ 3.00
Ácido acético		8		1000	\$ 1.10	\$ 8.80
Agua destilada		1		72	\$ 4.50	\$ 4.50
NaOH	Al 0.2 y 0.5 M	1		36	-	-
Mano de obra directa	Persona que está directamente relacionada con el proceso	1			\$ 150.00	\$ 150.00
Equipos						
Secador de bandejas		1			\$ 650.00	\$ 650.00
Reverbero		1			\$ 50.00	\$ 50.00
Estufa		1			\$ 850.00	\$ 850.00
Costos indirectos						
Recipientes	Cajas Petri	36			\$ 0.35	\$ 12.60
Etiquetas	Para poder rotular las muestras	1			\$ 0.80	\$ 0.80
Energía eléctrica		1			\$ 60.00	\$ 60.00
Suministro de limpieza	Jabón, guantes	2			\$ 30.00	\$ 60.00
TOTAL						\$ 1,851.70

Realizado por: Llano, D., 2024.

El costo total de producción de la película textil a partir de la caseína de la leche es de \$ 1851.70, donde los principales costos son los equipos (secador de bandejas y estufa) y la mano de obra directa. Es importante considerar que estos valores son estimados y pueden variar dependiendo de la escala de producción, los precios de los insumos y el método de producción.

A nivel experimental, la producción de láminas textiles a partir de la caseína de la leche no es económicamente viable. Por lo tanto, se requieren estudios adicionales para optimizar el proceso de producción, reducir costos y aumentar la eficiencia, con el objetivo de obtener fibras textiles en el futuro.

4.3. Análisis estadístico

4.3.1. Análisis estadístico cualitativo

Conforme con los datos obtenidos en la (Ver. Tabla 4-5) sobre el espesor de las láminas, se puede observar que los dos lotes a 0.2M de NaOH de muestras de películas tienen similar espesor, con ello se puede presentar en la siguiente Tabla 4-10.

Tabla 4-10: Resultados del espesor (mm) de la película.

Espesor (mm)	Frecuencia (F)	Frecuencia acumulada (Fa)	Frecuencia relativa (Fr)	Frecuencia relativa acumulada (Fra)
0.78	1	1	0.1667	0.1667
0.79	2	3	0.3333	0.5000
0.80	2	5	0.3333	0.8333
0.81	1	6	0.1667	1.0000
TOTAL	6			

Realizado por: Llano, D., 2024

Según los datos, se puede concluir que las películas con mejor espesor se encuentran en el Lote 2 donde las películas se desarrollaron a partir de la caseína acidificada a un pH de 5.25 con 38°C cabe recalcar que fue el lote con mayor cantidad de caseína al final del proceso de secado.

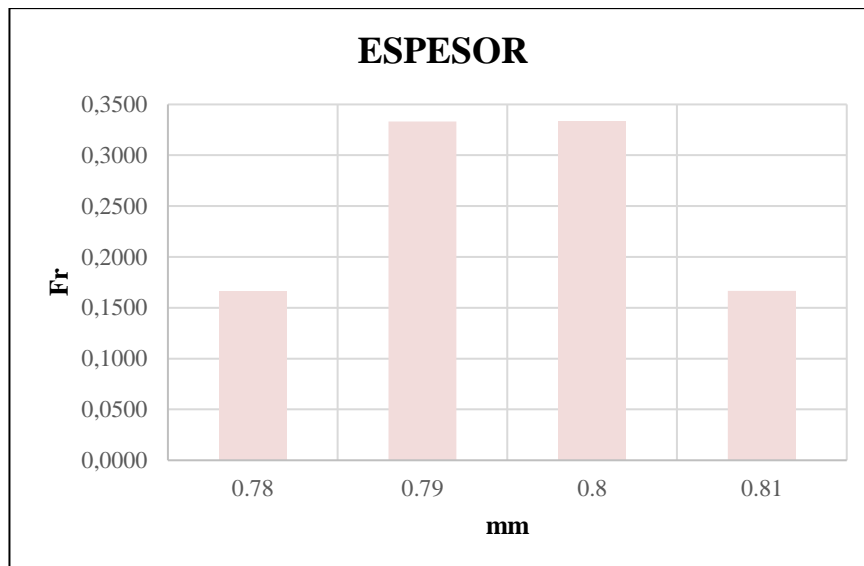


Ilustración 4-3: Gráfico de columnas de acuerdo con el espesor de la película.
Realizado por: Llano, D., 2024

El gráfico de columnas ofrece una representación clara de la distribución del espesor de la película en relación con las diferentes medidas de espesor (mm). Cada columna representa una medida de espesor específico, con la altura de la columna indicando la frecuencia de concurrencias de películas dentro de dicho intervalo.

Considerando que no se obtuvieron fibras sino películas o láminas, en la (Ver. Tabla 4-6) se pueden observar los resultados de acuerdo con los parámetros establecidos por la norma (INEN 2010, pág. 21). En esta tabla, se han clasificado las reacciones de las películas a la llama según la norma, y se ha registrado la frecuencia de cada parámetro, como se muestra en la siguiente Tabla 4-11:

Tabla 4-11: Resultados de reacción a la llama de las películas según Norma INEN 2010.

Parámetro	F	Fa	Fr	Fra
3 (Alta reacción)	6	6	0.50	0.50
2 (Media reacción)	0	6	0.00	0.50
1 (Poca reacción)	0	6	0.00	0.50
0 (Nada reacción)	6	12	0.50	1.00
Total	12			

Realizado por: Llano, D., 2024

El gráfico de columnas representa visualmente la frecuencia de cada tipo de reacción de la película a la llama, según los resultados de la Tabla 4-11. Cada columna representa un tipo de reacción, y la altura de la columna indica la frecuencia correspondiente. Esto proporciona una visión clara y

comparativa de cómo se distribuyen las diferentes reacciones de la película del Lote 1 y 2 desarrolladas, frente a la llama. A continuación, se presenta en la Ilustración 4-4 los parámetros de reacción a la llama.

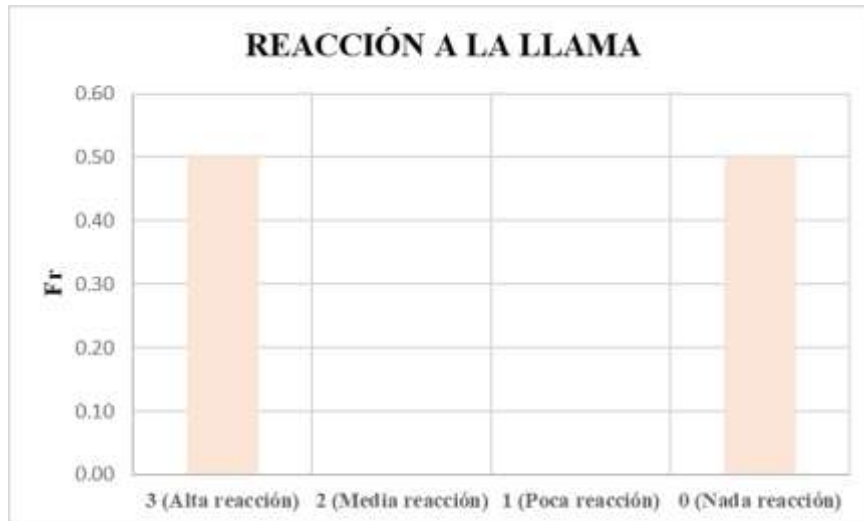


Ilustración 4-4: Gráfico de columnas respecto a la reacción de la llama.
Realizado por: Llano, D., 2024

Según la gráfica, se destaca que dos condiciones muestran una frecuencia relativa del 50%. Esto corresponde a la alta reacción y la ausencia total de reacción a la llama. Esto sugiere de las muestras analizadas, 6 muestran una alta reacción a la llama y corresponden a las películas desarrolladas con 0.2M de NaOH, mientras que las otras seis muestras no presentan reacción alguna a la llama y corresponden a las láminas desarrolladas con 0.5M de NaOH.

Esto indica que tanto las películas del Lote 1 como las del Lote 2 con 0.2M de NaOH exhiben un comportamiento similar en este ensayo de reacción a la llama. Esta uniformidad sugiere que los lotes pueden ser considerados comparables en términos de su respuesta a este criterio específico de evaluación.

Los resultados de los ensayos de solubilidad de las películas textiles se presentan en la (Ver. Tabla 4-7) proporcionada. Se evaluaron diferentes concentraciones de cuatro solventes: ácido acético, acetona, ácido fórmico y ácido sulfúrico, a una temperatura de 20°C y diferentes tiempos de exposición (5 minutos para ácido acético, acetona y ácido fórmico, y de 20 minutos para ácido sulfúrico).

Se observa que, en todas las condiciones de ensayo, la película textil del Lote 1 y 2 desarrolladas con 0.2M de NaOH mostraron ser insolubles en los solventes evaluados, como se indica por la letra “I” en las celdas de la tabla. Esto indica que la lámina textil de los diferentes lotes a una concentración molar de 0.2 de NaOH no se disolvieron en ninguno de los solventes utilizados en los tiempos de exposición especificados.

Estos resultados sugieren que la película textil de los lotes 1 y 2 a 0.2M de NaOH desarrollados son químicamente estables mientras que aquellas que fueron desarrolladas con una concentración de 0.5M se ven afectadas en las condiciones específicas de los ensayos. Esta característica es deseable en aplicaciones textiles, ya que proporciona resistencia y durabilidad a la lámina en diferentes entornos y condiciones de uso con referencia aquella película elaborada con 0.2M de NaOH.

4.3.2. Análisis estadístico cuantitativo

El análisis estadístico cuantitativo respecto a la propiedad de resistencia a la tracción se lo iba a realizar utilizando el equipo universal; sin embargo, debido a la consistencia que presenta la película textil es de poca resistencia desde el momento de poderla desprender de la caja Petri sin embargo, se lo va a hacer de manera manual la resistencia que presenta la película.

Tabla 4-12: Resultados de resistencia a la tracción de la película de manera manual.

LOTE	CODIFICACIÓN	TRACCIÓN	Concentración NaOH	Temperatura (°C)
L1	L1-1	1	0.2	65
	L1-2	2	0.2	70
	L1-3	2	0.2	75
	L1-4	0	0.5	65
	L1-5	0	0.5	70
	L1-6	0	0.5	75
L2	L2-1	1	0.2	65
	L2-2	2	0.2	70
	L2-3	2	0.2	75
	L2-4	0	0.5	65
	L2-5	0	0.5	70
	L2-6	0	0.5	75

Realizado por: Llano, D., 2024

Donde:

Alto: 2

Medio: 1

Bajo: 0

Con base en estos resultados, se planteó un diseño de bloques al azar utilizando el software MINITAB. Se formularon las siguientes hipótesis:

- **Para las concentraciones de NaOH (M)**

H₀: Las concentraciones de NaOH (M) no generan diferencias en la resistencia de la película.

H_A: Al menos una concentración de NaOH (M) genera diferencia en la resistencia de la película.

- **Para las temperaturas**

H₀: Las temperaturas no generan diferencias en la resistencia de la película.

H_A: Al menos una temperatura genera diferencia en la resistencia de la película.

Se utilizó un intervalo de confianza del 95% para establecer tanto la hipótesis nula como la alternativa en el análisis estadístico. La decisión de aceptar o rechazar estas hipótesis se basó en los valores de probabilidad asociados, donde la hipótesis nula se acepta si $p > 0,05$ y la hipótesis alternativa se acepta si $p < 0,05$.

Método					
Codificación de factores: (-1; 0; +1)					
Información del factor					
Factor	Tipo	Niveles	Valores		
Concentración NaOH	Fijo	2	0,2; 0,5		
Temperatura (°C)	Fijo	3	65; 70; 75		
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Concentración NaOH	1	8,33333	8,33333	100,00	0,000
Temperatura (°C)	2	0,66667	0,33333	4,00	0,062
Error	8	0,66667	0,08333		
Falta de ajuste	2	0,66667	0,33333	*	*
Error puro	6	0,00000	0,00000		
Total	11	9,66667			

Ilustración 4-5: Modelo lineal: Tracción vs. Concentración NaOH; Temperatura (°C).

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

Los resultados mostraron que las concentraciones de NaOH (M) sí generan diferencias, ya que el valor de p obtenido es 0.000, lo cual es menor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$. Por esta razón, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que al menos una concentración, como 0.5M, genera

diferencia en la película. De igual manera, la temperatura también genera diferencias, como se observa en la Ilustración 4-6 en la resistencia de la película, donde al menos un valor de temperatura obtiene un valor de $p < 0.05$ (nivel de significancia).

Se puede concluir que los parámetros de concentraciones y temperatura afectan significativamente la resistencia, es decir, se aceptan las hipótesis alternativas.

Resumen del modelo				
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)	
0.288675	93.10%	90.52%	84.48%	

Coeficientes					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.8333	0.0833	10.00	0.000	
Concentración NaOH					
0.2	0.8333	0.0833	10.00	0.000	1.00
Temperatura (°C)					
65	-0.333	0.118	-2.83	0.022	1.33
70	0.167	0.118	1.41	0.195	1.33

Ilustración 4-6: Modelo lineal: Tracción vs. Concentración NaOH; T (°C).

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con las respuestas obtenidas por el software Minitab se puede observar que el valor de $p < 0.05$ los tratamientos tratados a 65°C. Sin embargo, teniendo en cuenta los datos de la Ilustración 4-6 se acepta la hipótesis alternativa, ya que a 0.5M de NaOH la película del Lote 1 y 2, no tiene resistencia, mientras que a 0.2M de NaOH si presenta resistencia.

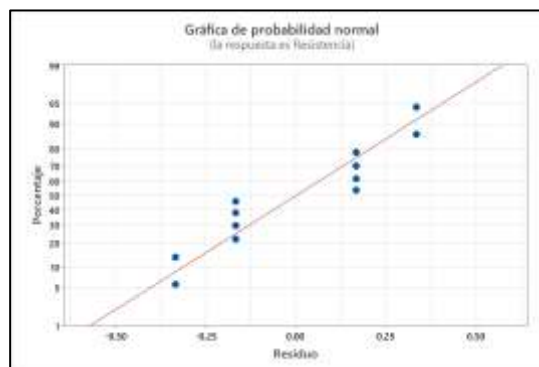


Ilustración 4-7: Gráfica de distribución normal.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

Los puntos se distribuyen en una línea recta aproximadamente. Sin embargo están distanciadas de la recta, de igual manera se ajustan a una distribución normal. Además, hay puntos atípicos evidentes. Los puntos atípicos son aquellos que se alejan significativamente de la línea recta.

De acuerdo con la gráfica de probabilidad normal, se puede concluir que existe una relación normal entre los datos analizados. Esto significa que los datos se ajustan a una distribución normal.

La Ilustración 4-8 muestra la relación entre dos variables. En este caso el eje horizontal representa la variable independiente y el eje vertical la variable dependiente.

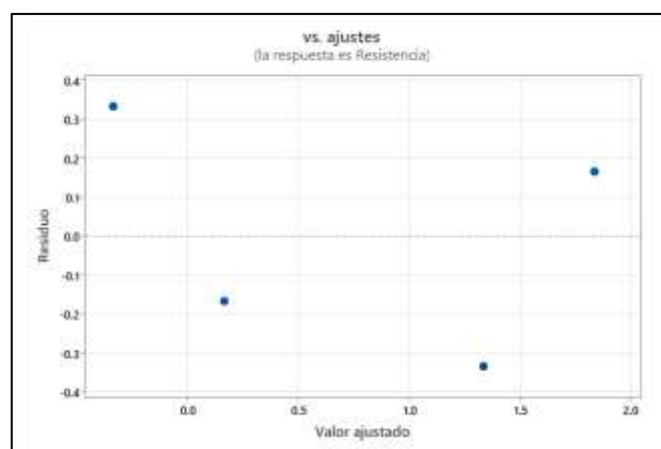


Ilustración 4-8: Gráfica de representación de varianza.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

Los puntos de la gráfica se distribuyen con algún patrón claro o contundente en la parte inferior. Se observa una forma específica, como una “corneta o embudo”, que no indica una relación lineal entre variables.

De acuerdo con la gráfica, se puede afirmar con certeza que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante. La varianza constante es crucial para realizar ciertos análisis estadísticos, como el análisis de regresión lineal.

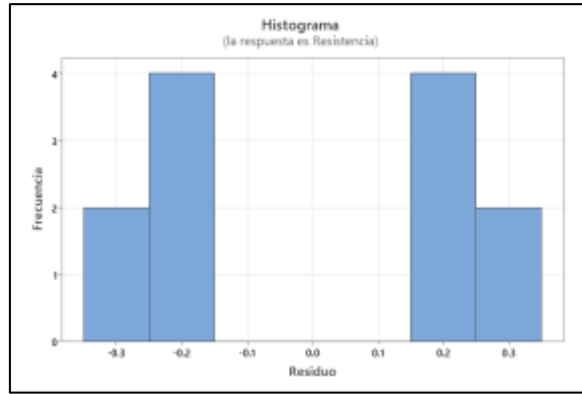


Ilustración 4-9: Representación de frecuencia y residuos.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

En la Ilustración 4-9, se representa la distribución de barras donde se muestra valores atípicos por lo que se encuentra un espacio entre barras para lo cual sería una distribución atípica alrededor de la media, ya que los Lotes tienen una distribución diferente.

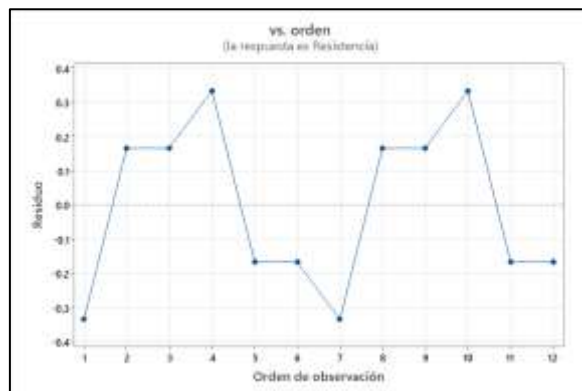


Ilustración 4-10: Representación de orden e independencia.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

En la Ilustración 4-10, donde en el eje X orden de observación (orden de corrida) y en el eje Y los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidente de que no existe una correlación entre los errores y, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple.

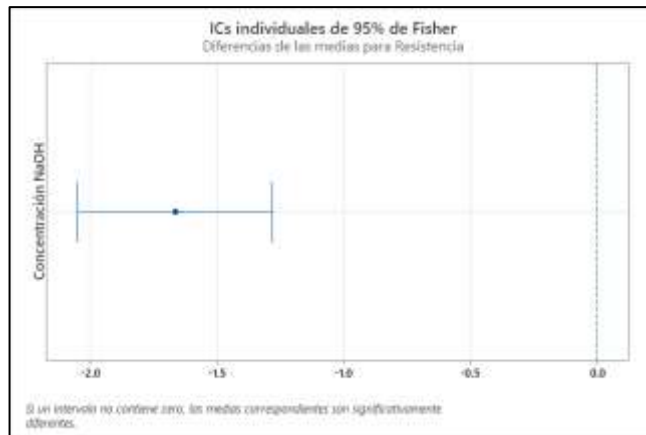


Ilustración 4-11: Representación de concentración NaOH vs. Medias de resistencia.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con la gráfica de Tukey con un nivel de confianza del 95% nos permite identificar si un intervalo es diferente, como se muestra en la Ilustración 4-11 el intervalo o el punto del intervalo no se encuentra en el cero por lo que podemos mencionar que respecto a la concentración no están resistente la película textil.

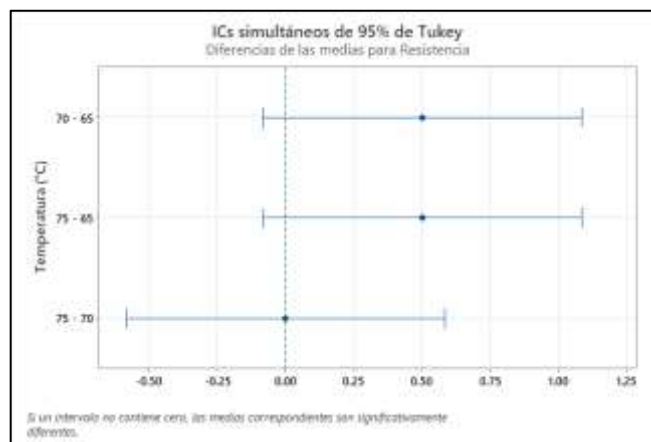


Ilustración 4-12: Representación de T(°C) vs. Medias de resistencia con 0.2M NaOH.

Fuente: MINITAB

Realizado por: Llano, D., 2024

De acuerdo con la Ilustración 4-12 el intervalo o el punto del intervalo (70-75°C) se encuentra en el cero por lo que podemos mencionar que respecto las películas desarrolladas con 0.2M a temperaturas (70-75°C) son resistentes. Sin embargo, las láminas con 0.5M de NaOH no presentan ninguna resistencia.

4.4. Discusión

La película textil desarrollada en este proyecto de investigación ha demostrado tener propiedades físicas, químicas favorables. En comparación con otros estudios (Bier et al. 2016, págs. 2-5; 2017, págs. 2-5), la película desarrollada presenta características comparables en cuanto a su estructura y la reacción que presenta la película al estar expuesta al calor o algún compuesto soluble. Respecto a las propiedades mecánicas los resultados no son tan favorables como en otros estudios (Bier et al. 2016, págs. 2-5; 2017, págs. 2-5). Esto se debe principalmente a dos razones:

- **Compuestos:** a diferencia de otros estudios que utilizan componentes químicos adicionales como aceite de parafina, cera o glucosa, el enfoque de la investigación realizada se basa en utilizar menos componentes químicos para que sea más sostenible. Esto puede afectar algunas propiedades mecánicas de la película.
- **Método de desarrollo:** no se ha utilizado la técnica de electrohilado debido a la falta de acceso al equipo. En su lugar, se ha optado por un método de fabricación de láminas no tejidas. Esta diferencia en el método o de producción puede afectar la resistencia de las películas.

A pesar de las limitaciones en las propiedades mecánicas, la película desarrollada en este trabajo se ha centrado en la utilización de compuestos más sostenibles y en la adopción de métodos de fabricación que minimizan el uso de productos químicos. No se emplearon aceite de parafina, ceras ni glucosa, y no se pudo usar el equipo de electrohilado debido a la falta de este. Por esta razón, la resistencia de la película textil en los Lotes 1 y 2 no es óptima, ya que se produjo en forma de lámina no tejida, a diferencia de otros estudios que utilizaron métodos que facilitan la producción de fibras tejidas.

Además, con otras investigaciones anteriores (Blackburn et al. 2021, pág. 7; Gebhardt et al. 2021, pág. 1; Bouchet et al. 1997, pág. 2) que hicieron uso de ácido sulfúrico y formaldehído, compuesto, potencialmente peligroso, el enfoque de la investigación se ha basado en métodos más seguros y respetuosos con el medio ambiente. Por lo tanto, se puede concluir que en este trabajo se desarrollaron películas y no fibras textiles. Este enfoque no solo es novedoso, sino también sostenible desde una perspectiva ambiental, al evitar el uso de compuestos peligrosos como el ácido sulfúrico en los baños de hilado y el formaldehído, aunque a nivel técnico presenta ciertos desafíos de viabilidad.

4.5. Comprobación de la hipótesis

En este trabajo de investigación, se analizaron los datos obtenidos para determinar si las hipótesis planteadas son compatibles con los resultados.

4.5.1. Respuesta a Hipótesis General

¿Se puede desarrollar una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche aplicando procesos fisicoquímicos?

Sí, se puede desarrollar una fibra textil sostenible a partir de la caseína de la leche mediante la aplicación de procesos fisicoquímicos. Sin embargo, en este estudio se obtuvo película. El proceso de elaboración de esta película textil implica una serie de pasos que combinan aspectos físicos y químicos para transformar la caseína en un material adecuado (Ver. Ilustración 3-3) para la producción de lámina textil (Ver. Ilustración 3-4).

Este enfoque combina métodos fisicoquímicos para obtener un material textil sostenible a partir de un recurso renovable como la caseína de la leche. Al aplicar estos procesos, se logra transformar la caseína en una película, que contribuyen a la sostenibilidad y reducción de la dependencia de recursos no renovables en este ámbito.

4.5.2. Respuesta a Hipótesis Específicas

Seguidamente se va a responder a las hipótesis específicas que se mencionaron en el Capítulo I.

- ***Hipótesis específica 1***

Si se utilizan procesos fisicoquímicos ¿será posible obtener un método altamente eficiente y efectivo para extraer la caseína de la leche?

Sí, es factible obtener un método eficiente para extraer la caseína de la leche mediante procesos fisicoquímicos. Sin embargo, la eficiencia y efectividad pueden variar según el tipo o producto específico de caseína que se desee obtener. En el presente trabajo de integración curricular, el proceso descrito se centra en la obtención de caseína ácida.

Este proceso implica el uso de métodos fisicoquímicos, como la acidificación de la leche a un pH de 5.25, seguido de precipitación y filtración para separar la caseína del suero y otras proteínas presentes. Este enfoque ha demostrado ser eficiente para la obtención de caseína ácida, teniendo en cuenta que existen otros productos de caseína.

Por lo tanto, se puede concluir que, al emplear procesos fisicoquímicos adecuados y optimizados, es posible obtener caseína a partir de la leche, contribuyendo así a la viabilidad del desarrollo de película textil sostenibles a partir de este recurso renovable.

- ***Hipótesis específica 2***

Al determinar los parámetros óptimos, como la temperatura y el pH, ***¿se optimizará el proceso de obtención de caseína para su posterior transformación en fibra textil?***

Es importante recalcar que en esta investigación se obtuvo película y no fibra debido a diversos factores que pudieron influir en su desarrollo. Se ha demostrado que la determinación de los parámetros óptimos, como la temperatura y el pH, sí optimiza el proceso de obtención de caseína para su posterior transformación en película textil.

Los resultados de la investigación indican que la precipitación de la caseína se produce más rápido a 38°C y un pH de 5.25 en comparación con la temperatura de 20°C, donde se obtuvo una mayor cantidad de caseína en el Lote 2, en comparación con el Lote 1 (20°C, pH 5.25). La caseína obtenida en condiciones óptimas presenta mejores propiedades para la producción de película textil es del Lote 2 con una mayor cantidad de caseína, (Ver Tabla 4-4).

La optimización de los parámetros de temperatura y pH permite obtener caseína de mayor calidad y cantidad, lo que a su vez mejora el proceso de producción de película textil.

- ***Hipótesis específica 3***

Al evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra textil, ***¿se demostrará que la caseína de la leche puede generar un material textil con características satisfactorias?***

Al evaluar las propiedades físicas como la estructura, el espesor y el color presenta buenas cualidades, por otro lado, las propiedades químicas la película textil es insoluble a los compuestos

de ácido acético, acetona, ácido fórmico y ácido sulfúrico (Ver. Tabla 4-7), mientras que las propiedades mecánicas debido a la consistencia y que requiere de una manipulación cuidadosa la película no fue sometida al equipo Universal para poder determinar la resistencia a la tracción, sin embargo, en una escala de 2 a 0 calificando de alto a bajo se puede mencionar que las láminas desarrolladas con el Lote 1 y 2 a una concentración de 0.2M de NaOH presentan mejor resistencia después de ser desprendida de la placa (Ver. Tabla 4-12)

Para concluir, es importante mencionar que, debido a diversos factores que pudieron influir, no se lograron desarrollar fibras. Sin embargo, se pudo obtener una película textil a partir de la caseína de la leche obtenida en los Lotes 1 y 2. Cabe señalar que la resistencia de la película, realizada con 0.5 M de NaOH, no es adecuada.

- ***Hipótesis específica 4***

Al analizar la viabilidad técnica y económica, ***¿se confirmará que la producción de fibra textil a partir de caseína es una alternativa sostenible y económicamente viable?***

No, después de analizar la viabilidad técnica y económica, podemos afirmar que la producción de películas textiles a partir de caseína representa una alternativa sostenible desde una perspectiva ambiental, aunque no es tan viable desde el punto de vista técnico. Sin embargo, se requiere llevar a cabo más investigaciones para obtener fibras, mejorando así sus propiedades de resistencia. Esto se debe a que, en el proceso de producción, no se emplean componentes químicos adicionales aparte del NaOH, que facilita la disolución de la caseína en la mezcla, ni se hace uso de equipos especializados como la técnica del electrohilado. Este enfoque minimiza el impacto ambiental al reducir la dependencia de compuestos químicos potencialmente dañinos como el formaldehído.

Sin embargo, desde el punto de vista económico, a nivel experimental, la viabilidad puede ser limitada. Esto se debe principalmente a los costos asociados con la adquisición de los equipos, así como la necesidad de contar con personal altamente calificado para llevar a cabo el proceso de producción. Estos factores pueden aumentar significativamente los costos de producción y, en última instancia afectar la viabilidad económica.

- ***Hipótesis específica 5***

Al aplicar un método estadístico, *¿se podrá distinguir y evaluar de manera objetiva los datos recopilados en la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones?*

Sí, los métodos estadísticos aplicados han permitido una distinción y evaluación objetiva de los datos recopilados en la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones. Se llevó a cabo un análisis tanto cualitativo como cuantitativo para abordar diferentes aspectos de las propiedades de la película textil desarrollada a partir de la caseína de la leche.

El análisis cualitativo se realizó por medio de tablas de frecuencia el cual se centró en propiedades físicas como el espesor y color, así como propiedades químicas, como la solubilidad que mediante los ensayos realizados se determinó que es insoluble a los diferentes compuestos expuestos (Ver. Tabla 4-7) y la reacción a la llama que presenta poca resistencia al calor (Ver. Tabla 4-11). Estos análisis proporcionaron información detallada sobre la apariencia y la respuesta química de la película, lo que permitió una evaluación de su calidad y utilidad.

Por otro lado, el análisis cuantitativo se enfocó en una propiedad mecánica esencial: la resistencia, lo cual se determinó manualmente. Este análisis permitió determinar la capacidad de la lámina de ser desprendida de la placa, lo que es fundamental para su rendimiento en aplicaciones textiles.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

Para poder desarrollar la película textil a partir de la caseína de la leche de una manera óptima se propone que la siguiente investigación que tomen en cuenta lo siguiente:

Equipos

- Un atomizador: utilizado para atomizar la solución de caseína y crear partículas finas para el proceso de electrohilado.
- Un secador de bandejas con recirculación de aire: empleado para secar la caseína precipitada, filtrada y una vez lavada, permitiendo un control preciso de la temperatura y la humedad para obtener caseína de mejor calidad.

Proceso

- Proceso de electrohilado (*electrospinning*): utilizado para generar fibras ultrafinas a partir de la solución de caseína, mediante la aplicación de un campo eléctrico.

Materia

- Leche: utilizada como materia principal para la extracción de la caseína.
- Ácido acético: empleado como agente coagulante para precipitar la caseína de la leche.
- Caseína: producto final obtenido tras la extracción y procesamiento de la leche.

Métodos

- Método de extracción de la caseína: investigar sobre nuevos métodos para poder extraer la caseína de la leche.
- Método de secado de película textil: indagar nuevos métodos de secado para evitar costos elevados.

Conforme al diseño propuesto en el presente trabajo de investigación se detalla como primer método la extracción de la caseína, que a continuación se describe:

Extracción de caseína para obtener como producto caseína ácida, de la cual se partió con 1000 ml de leche entera pasteurizada:

- *Extracción de caseína para Lote 1 (1000 ml)*

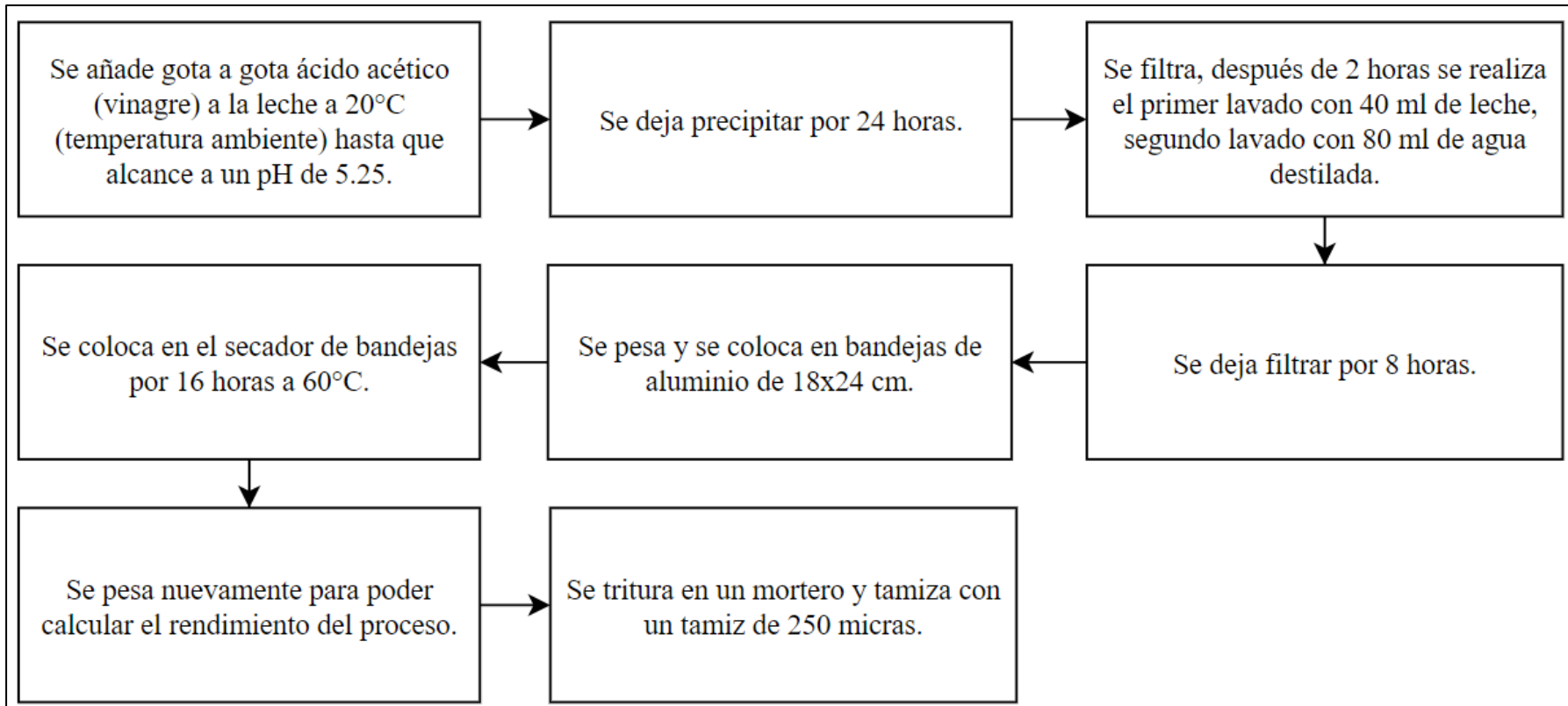


Ilustración 5-1: Extracción de caseína Lote 1.

Realizado por: Llano, D., 2024

- *Extracción de caseína para Lote 2 (1000 ml)*

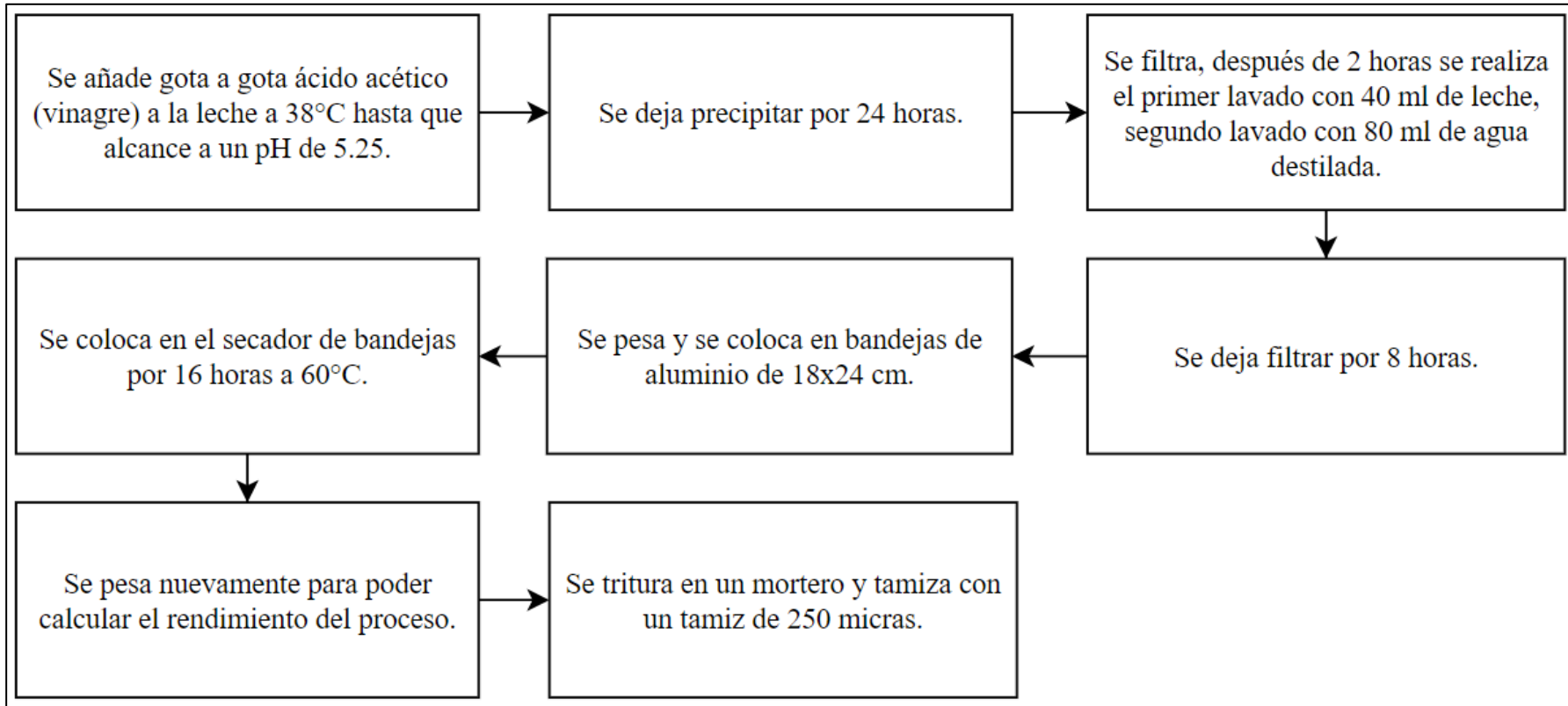


Ilustración 5-2: Extracción de caseína Lote 2.

Realizado por: Llano, D., 2024

Para poder desarrollar la película textil a partir del Lote 1, se realizó 6 muestras con diferentes concentraciones de NaOH (0.2 y 0.5 M) y temperaturas de (65, 70 y 75°C). A continuación, se describen los siguientes pasos:

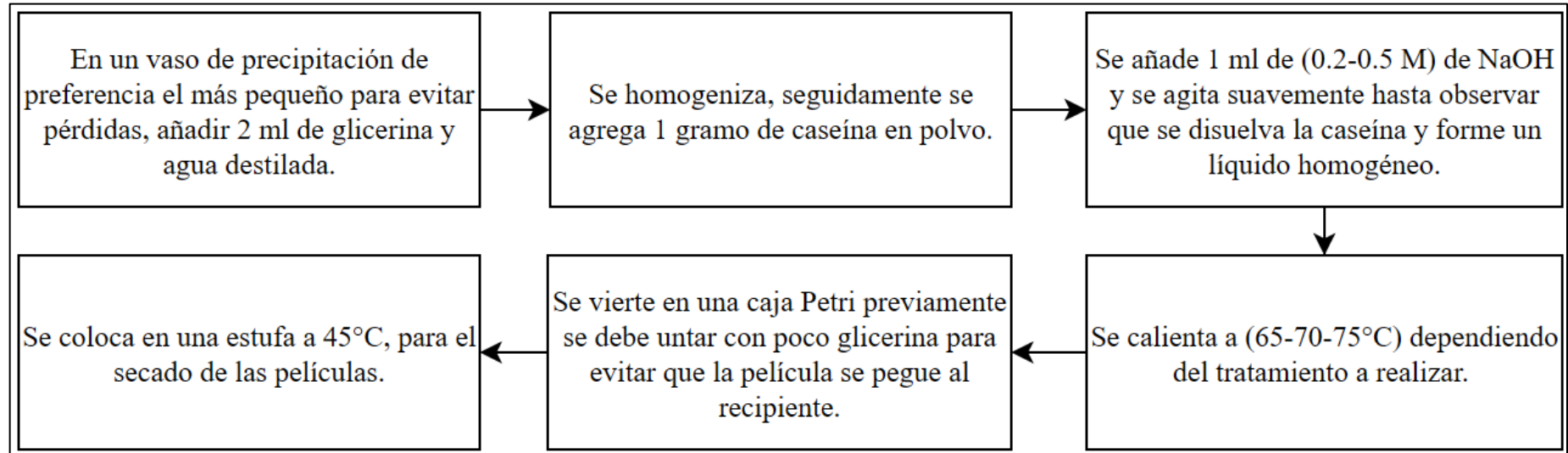


Ilustración 5-3: Desarrollo de la película textil.

Realizado por: Llano, D., 2024

De igual manera se desarrolla con el Lote 2 de la caseína en polvo.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se desarrolló una película textil sostenible en lugar de fibras debido a diversos factores que pudieron influir en su desarrollo, utilizando caseína de la leche mediante procesos fisicoquímicos, como la precipitación, filtración, lavado y secado. Este proceso se llevó a cabo con 1000 ml de leche para el Lote 2. Para desarrollar la película, se realizaron experimentos a temperaturas de 65, 70 y 75 °C, con una concentración molar de 0.2 de NaOH.
- Se estableció el método óptimo para la extracción y purificación de la caseína de la leche, utilizando procesos fisicoquímicos, entre ellos se precipitó con ácido acético para obtener caseína ácida, posteriormente se filtra y se realiza dos lavados el primero con etanol (40 ml) y el segundo lavando con agua destilada (80 ml), seguidamente se deja filtrando hasta que las muestras tengan aspectos cremosos y luego se colocaron en bandejas para ser secadas en un secador a 60 °C. Después de 16 horas aproximadamente ya están secas las muestras.
- Se identificó los parámetros adecuados para poder obtener la caseína, entre ellos un pH de 5.25 a 38 °C debido a que, con estos parámetros se logra un mejor rendimiento después del proceso de secado, además para los lavados se realiza con 40 ml de Etanol al 96% para el primero y con 80 ml de agua destilada para el segundo lavado.
- Se determinaron las propiedades físicas, químicas, mecánicas y la calidad de la película textil elaborada. Entre ellas, el espesor predominante se encuentra en un intervalo de 0.79-0.80 mm, adicionalmente la estructura de la mayoría de las muestras es lisa, respecto a las propiedades químicas entre ellas la reacción de la llama de la película determina que, la película no es tan resistentes al calor, mientras que la característica de solubilidad realizada con los diferentes componentes la película es insolubles para ácido acético, acetona, ácido fórmico y ácido sulfúrico a los diferentes tiempos de exposición de la película, respecto a las propiedades mecánicas se la realizó de manera manual por motivo que la resistencia de la lámina no es tan buena, sin embargo de acuerdo a la escala propuesta la película del Lote 1 y 2 con 0.2 M de

NaOH es más resistente, a diferencia de aquella que fue realizada con 0.5 M NaOH que no presenta ninguna resistencia.

- Se evaluó la viabilidad técnica y económica para la obtención de una película textil sostenible a partir de la caseína de la leche. Desde el punto de vista técnico, se requieren más investigaciones para mejorar las propiedades de la película textil. En cuanto a la viabilidad económica, no resulta tan favorable, por lo que se debe mejorar el método o técnica para desarrollar la película textil o para obtener la fibra.
- Se utilizó una tabla de frecuencias e interpretación de datos para realizar un análisis estadístico cualitativo del espesor, la reacción a la llama y la solubilidad de las películas del Lote 1 y Lote 2, donde se puede concluir que las películas realizadas del Lote 1 y 2 con 0.2M NaOH a temperaturas de 70 y 75°C presentan mejores propiedades físicas, químicas y mecánicas. En cuanto a la parte cuantitativa, se analiza la reacción que tienen las películas a la resistencia, la cual se realizó de manera manual debido a que, presentan poca resistencia para ser sometidas o analizadas por el equipo universal. Sin embargo, el análisis ANOVA se realizó en Minitab para observar de mejor manera las características de la película textil y discriminar los datos de la investigación.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo experimentos con otros tipos de productos de caseína para determinar si afectan al desarrollo de la película.
- Se recomienda realizar una investigación más profunda sobre el proceso de electrohilado para poder desarrollar las fibras propuestas.
- Se recomienda realizar nuevas investigaciones sobre reticulantes que puedan mejorar la resistencia de la película. Es importante mencionar que, en esta investigación, aunque no se incluyó la parte preexperimental con ácido láctico y ácido fórmico debido a que estos reticulantes no produjeron los resultados esperados y causaron que la película presentara una apariencia de cortado, lo que indica que los reticulantes no funcionaron.
- Se recomienda utilizar un secador de bandejas para el proceso de secado de la caseína y una estufa para el secado de película.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AFP-RELAXNEWS**, 2022. La leche, una fibra textil casi como cualquier otra. *FASHION_Network* [en línea]. 2022. [consulta: 16 junio 2023]. Disponible en: <https://pe.fashionnetwork.com/news/La-leche-una-fibra-textil-casi-como-cualquier-otra,1434141.html#msgm>.
2. **AGUDELO, D. & BEDOYA, O.**, 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación* [en línea]. 2005. pp. 38-42. ISSN 1794-4449. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520107>.
3. **ALOMAR, D. & GATICA, C.**, 2017. Variantes genéticas de beta caseína bovina: implicancia en la producción, características tecnológicas de la leche y la salud humana. *Agro Sur* [en línea]. 2017. pp. 29-35. [consulta: 25 febrero 2024]. ISSN 03048802. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/5903>.
4. **ÁLVAREZ, J. & MEJÍA, Y.**, 2016. Extracción de caseína y determinación de PI. [en línea]. Bogotá - Colombia, 2016. [consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/24272268/Extracci%C3%B3n_de_case%C3%ADna_y_determinaci%C3%B3n_de_PI.
5. **ANITHA LAKSHMI, A., et al.**, 2023. Optimization and mechanical characterization of casein and seaweed resin with hemp reinforcement: A review. *E3S Web of Conferences* [en línea]. 5 junio 2023. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 22671242. Disponible en: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/28/e3sconf_icmed-icmpc2023_01001/e3sconf_icmed-icmpc2023_01001.html.
6. **ATAMER, Z.**, 2022. Production and Physicochemical Properties of Casein-Based Adhesives. *Akademik Gıda* [en línea]. 2022. pp. 12-19. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 2148015X. Disponible en: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2350270>.
7. **AUERBACH, H., et al.**, 2022. Referencing Historical Practices and Emergent Technologies in the Future Development of Sustainable Textiles: A Case Study Exploring “Ardil”, a UK-

- Based Regenerated Protein Fibre. *Sustainability (Switzerland)* [en línea]. 1 julio 2022. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 20711050. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8414>.
8. **AZOIA, N.G., et al.**, 2021. Proteins derived from the dairy losses and by-products as raw materials for non-food applications. *Foods* [en línea]. 1 enero 2021. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 23048158. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/1/135>.
 9. **BADEM, A. & UÇAR, G.**, 2017. Production of caseins and their usages. *International Journal of Food Science and Nutrition* [en línea]. 2017. pp. 2455-4898. ISSN 2455-4898. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/330674713>.
 10. **BARRIGA, D. & LÓPEZ, Á.**, 2016. LA LECHE COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS. [en línea]. Andalucía-Europa, 2016. [consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/436502c6-f47c-42ab-a053-f3ab26dee712>.
 11. **BELKHIR, K., et al.**, 2021. Antibacterial textile based on hydrolyzed milk casein. *Materials* [en línea]. 2 enero 2021. pp. 1-14. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 19961944. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/2/251>.
 12. **BERMEO, J.**, 2015. EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES EN UNA EMPRESA TEXTIL. [en línea]. Ecuador, 2015. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13422/1/UPS-GT001778.pdf>.
 13. **BIER, M.C., et al.**, 2016. Investigation of the casein fibre production in an eco-friendly way. [en línea]. Germany, 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/310832654>.
 14. **BIER, M.C., et al.**, 2017. Investigation of eco-friendly casein fibre production methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea]. 8 noviembre 2017. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 1757899X. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/19/192004/pdf>.

15. **BLACKBURN, R., et al.**, 2021. From clothing rations to fast fashion: Utilising regenerated protein fibres to alleviate pressures on mass production. *Energies* [en línea]. 1 septiembre 2021. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 19961073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/18/5654>.
16. **BOUCHET, B., et al.**, 1997. Preparation of Casein Films by a Modified Wet Spinning Process. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* [en línea]. 1997. [consulta: 8 noviembre 2023]. Disponible en: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15448.x>.
17. **CALDWELL, T.P., et al.**, 1945. TEXTILE FIBER from Casein - Factors Affecting the Tensile Strength. *INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY* [en línea]. 1945. [consulta: 8 noviembre 2023]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50425a029>.
18. **CAMPUES, C.**, 2022. Desarrollo de un género textil a partir del tallo de ortiga. [en línea]. Ambato - Ecuador, 2022. [consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34517>.
19. **CARTER, B.G., et al.**, 2021. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science* [en línea]. 1 marzo 2021. pp. 2465-2479. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 15253198. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221000126?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=8231e37d0e4225a6.
20. **CHÁVEZ, B.**, 2022. CARATERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA MEZCLA DE HILOS DE FIBRA DE ALPACA CON FIBRA PROTEICA DE LECHE. [en línea]. Arequipa-Perú, 2022. [consulta: 28 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/521d8224-f492-4e6e-ba0a-905a14a45288/content>.
21. **CHEN, D., et al.**, 2020. Robust Biological Fibers Based on Widely Available Proteins: Facile Fabrication and Suturing Application. *Small* [en línea]. 1 febrero 2020. [consulta: 8

noviembre 2023]. ISSN 16136829. Disponible en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.201907598>.

22. **CODEX ALIMENTARIUS**, 2022. NORMA PARA LOS PRODUCTOS A BASE DE CASEÍNA ALIMENTARIA. [en línea]. 2022. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en:
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcode-x%252Fstandards%252FCXS%2B290-1995%252FCXS_290s.pdf.
23. **CUENCA, R.**, 2022. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO PARA LA SÍNTESIS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DEL ALMIDÓN DEL ARROZ DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) PARA EL USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS. [en línea]. Riobamba - Ecuador, 2022. [consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en:
<http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/17715>.
24. **FARFÁN, A., et al.**, 2023. EXTRACCIÓN DE CASEINA Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO ISOELÉCTRICO. [en línea]. Lima - Perú, 2023. [consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/629061170/Extraccion-de-Caseina-y-Determinacion-Del-Punto-Isoelectrico>.
25. **FERNÁNDEZ, E.F., et al.**, 2015. Documento de Consenso: Importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutricion Hospitalaria* [en línea]. 2015. pp. 92-101. [consulta: 16 junio 2023]. ISSN 16995198. Disponible en:
<https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v31n1/09revision09.pdf>.
26. **FLORES, D.**, 2011. Elaboración de una guía didáctica virtual para los procesos de hilatura de fibras largas CAPITULO III LAS FIBRAS TEXTILES. [en línea]. 2011. [consulta: 16 junio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/730>.
27. **FLORES, M.**, 2023. Impacto de la adición de reticulantes en las propiedades mecánicas de fibras textiles con base en caseína revalorizada. [en línea]. Querétaro, 2023. [consulta: 16 junio 2023]. Disponible en: https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8147/simple-search?query=&sort_by=score&order=desc&rpp=10&filter_field_1=contributor&filter_tpy

e_1>equals&filter_value_1=Genaro+Mart%C3%ADn+Soto+Zaraz%C3%BAa&etal=0&filtername=subject&filterquery=Ciencias+Tecnol%C3%B3gicas&filtertype>equals.

28. **FLORES, M. & SOTO, G.,** 2020. Integración de biopolímeros en la Industria Textil. *Inventio* [en línea]. 1 julio 2020. [consulta: 15 mayo 2023]. ISSN 20071760. Disponible en: <file:///C:/Users/clien/Downloads/Dialnet-IntegracionDeBiopolimerosEnLaIndustriaTextil-8076977.pdf>.
29. **GARCÍA, Ana,** 2021. Evaluación ambiental de los productos textiles durante todo su ciclo de vida e introducción de estrategias de economía circular. [en línea]. Madrid, 2021. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/68410/1/TFM_Ana_Garcia_Frutos.pdf.
30. **GARCÍA, María,** 2021. ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR TEXTIL. [en línea]. Madrid, 2021. [consulta: 26 julio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/52786/2/TFG%20-%20Garcia%20Quesada%2C%20Maria.pdf>.
31. **GEBHARDT, R., et al.,** 2021. A regenerated fiber from rennet-treated casein micelles. *Colloid and Polymer Science* [en línea]. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00396-020-04802-5>.
32. **GUARACA, P.,** 2023. Extracción de caseína a partir de leche de vaca cruda, pasteurizada, semidescremada y descremada para la elaboración de pinturas ecológicas. [en línea]. Quito - Ecuador, 2023. [consulta: 4 junio 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/29798/1/FIQ-SA-GUARACA%20PABLO.pdf>.
33. **HAMMAM, A., et al.,** 2021. Progress in micellar casein concentrate: Production and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línea]. 1 septiembre 2021. pp. 4426-4449. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 15414337. Disponible en: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1541-4337.12795>.

34. **IMM, J.Y., et al.**, 2021. Effect of modified casein to whey protein ratio on dispersion stability, protein quality and body composition in rats. *Food Science of Animal Resources* [en línea]. 2021. pp. 855-868. [consulta: 9 noviembre 2023]. ISSN 26360780. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8460334/>.
35. **INEN**, 2010. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 527:2010 TEXTILES. IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS. ENSAYOS CUALITATIVOS. [en línea]. Quito - Ecuador, 2010. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/506791798/INEN-2544-1>.
36. **KUTSCHE, J. & PAPALEO, C.**, 2011. Qmilch. El tejido ecológico hecho de leche de vaca. *NOVIEMBRE* [en línea]. 2011. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/23700542/helvia/sitio/upload/RinconTec_12.pdf?fbclid=IwAR3i6bMkVa8WWImF9ZRrPCEeHmha6-hJNrUrbXgI3Eddl2OvCuA1kTV-8MM.
37. **LAW, A. & LEAVER, J.**, 2007. Métodos de extracción de caseína a partir de leche y caseinatos y producción de productos novedosos. [en línea]. España, 2007. [consulta: 17 junio 2023]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/96/77/58/98f1a8112f3a3d/ES2282431T3.pdf>.
38. **LIMPE, P.**, 2018. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TEXTILES ECOLÓGICOS DE ALGODÓN, FUNCIONALIZADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA CARBOXIMETILQUITOSANO (NPsAg-CMQ). [en línea]. Arequipa-Perú, 2018. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c9d7b911-e743-46e6-a638-4a41bec49e9f/content>.
39. **MATERIOTECA DE GALICIA**, 2021. Materiales orgánicos no vegetales. Estudio estratégico sobre oportunidades basadas en materiales. [en línea]. 2021. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: https://www.materioteca.gal/wp-content/uploads/2021/05/v2_050621_CIS2021_EstudioEstrategico_MaterialesOrganicosNoVegetales.pdf.

40. **MENA, F.**, 2020. APLICACIÓN DE UN ACABADO ANTIALÉRGICO CON LECHE EN TELA 100% ALGODÓN. [en línea]. Ibarra - Ecuador, 2020. [consulta: 26 julio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10173/2/04%20IT%20260%20TRABAJO%20GRADO.pdf>.
41. **MISTRY, V. V.**, 2002. Manufacture and application of high milk protein powder. *Lait* [en línea]. USA, 2002. pp. 515-522. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 00237302. Disponible en: <https://lait.dairy-journal.org/articles/lait/pdf/2002/04/13.pdf>.
42. **MODLER, H.W.**, 1985. Functional Properties of Nonfat Dairy Ingredients - A Review. Modification of Products Containing Casein. *Journal of Dairy Science* [en línea]. Canadá , 1985. pp. 2195-2205. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 00220302. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030285810912>.
43. **PADILLA, J. & ZAMBRANO, J.**, 2021. Structure, properties and genetic of milk caseins: a review. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* [en línea]. 31 diciembre 2021. pp. 62-95. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <file:///C:/Users/client/Downloads/Dialnet-EstructuraPropiedadesYGeneticaDeLasCaseinasDeLaLec-8392226.pdf>.
44. **PASTRANA, M. & ALMANZA, M.**, 2021. Fast Fashion: ¿moda o contaminación? Fast Fashion: Trend or Pollution? [en línea]. 2021. [consulta: 14 mayo 2023]. Disponible en: <https://www3.ugto.mx/eugreka/images/abejas/fast-fashion-moda-o-contaminacion.pdf>.
45. **SMITH, R.**, 1934. Improved Casein Manufacture. *INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY* [en línea]. 1934. [consulta: 8 noviembre 2023]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50296a004>.
46. **STENTON, M., et al.**, 2021. The potential for regenerated protein fibres within a circular economy: Lessons from the past can inform sustainable innovation in the textiles industry. *Sustainability (Switzerland)* [en línea]. 2 febrero 2021. pp. 1-18. [consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 20711050. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2328>.

47. **TAMIME, A.Y.**, 2009. Dairy powders and concentrated products. En: JOHN WILEY y SONS LTD (eds.) [en línea]. WILEY-BLACKWELL. United Kingdom, 2009. pp. 380. [consulta: 8 noviembre 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444322729>.
48. **VALENCIA, I.**, 2019. Caracterización y análisis de fibras textiles rentables. [en línea]. 2019. [consulta: 16 junio 2023]. Disponible en: [http://50.18.153.62/bitstream/handle/20.500.14039/6117/MONOGRAF%
c3%8dA%20-%20VALENCIA%20CONDORI%20INES%20SOLEDAD%20-%20FATEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://50.18.153.62/bitstream/handle/20.500.14039/6117/MONOGRAF%c3%8dA%20-%20VALENCIA%20CONDORI%20INES%20SOLEDAD%20-%20FATEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y).











ANEXOS

ANEXO A: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Autor(es)	Año	Título	Tipo	Enlace
Richard Smith	1934	Improved Casein Manufacture (Smith 1934).	Sección de un libro	https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50296a004
R. F. Peterson T. P. Caldwell N. J. Hipp R. Hellbach R. W. Jackson	1945	TEXTILE FIBER from CASEIN – Factors Affecting the Tensile Strength (Caldwell et al. 1945).	Sección de un libro	https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50425a029
A. Frinault D.J. Gallant B. Bouchet J.P. Dumont	1997	Preparation of Casein Films by a Modified Wet Spinning Process (Bouchet et al. 1997).	Artículo	https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15448.x
Marie Carolin Bier Sophia Kohn Antonia Stierand Nils Grimmelsmann Sarah Vanessa Homburg Andrea Ehrmann	2016	Investigation of the casein fibre production in an eco-friendly way (Bier et al. 2016).	Reporte	https://www.researchgate.net/publication/310832654
Ahmed R. A. Hammam Sergio I. Martínez-Monteagudo Lloyd E. Metzger	2021	Progress in micellar casein concentrate: Production and applications (Hammam, Martínez y Metzger 2021).	Artículo	https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1541-4337.12795
Sebastian Thill Thomas Schmidt Dominik Wöll Ronald Gebhardt	2021	A regenerated fiber from rennet-treated casein micelles (Gebhardt et al. 2021).	Artículo	https://link.springer.com/article/10.1007/s00396-020-04802-5
B. G. Carter N. Cheng R. Kapoor G. H. Meletharayil M. A. Drake	2021	Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk (Carter et al. 2021).	Artículo	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221000126?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=8231e37d0e4225a6
Zeynep Atamer	2022	Production and Physicochemical Properties of Casein-Based Adhesives (Atamer 2022).	Artículo	https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2350270

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO B: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CASEÍNA A PARTIR DE LA LECHE.

	
<p>Fotografía N° 1. Preparación de la leche.</p>	<p>Fotografía N° 2. Acidificación a pH de 5.25.</p>
	
<p>Fotografía N° 3. Precipitación de las muestras por Lotes.</p>	<p>Fotografía N° 4. Precipitado de Lote 1.</p>
	
<p>Fotografía N° 5. Precipitado de Lote 2.</p>	<p>Fotografía N° 6. Filtrado de los precipitados.</p>
	
<p>Fotografía N° 7. 40 ml de Etanol al 96% para primer lavado.</p>	<p>Fotografía N° 8. 80 ml de agua destilada para segundo lavado.</p>

Cont. ANEXO B: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CASEÍNA A PARTIR DE LA LECHE.



Fotografía N° 9. Caseína húmeda antes del proceso de secado.



Fotografía N° 10. Caseína seca después del proceso de secado.



Fotografía N° 11. Lotes de caseína antes de trituración y tamizado.



Fotografía N° 12. Trituración de la caseína.



Fotografía N° 13. Tamizado de caseína.



Fotografía N° 14. Lotes de caseínas después del proceso de trituración y tamizado.

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO C: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 1.

L1									
Hora	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Peso Caseína(g)	Peso agua (g)	Humedad base húmeda	Humedad base seca	Xlibre	DELTA X/DELTA T	N (gh2o/cm2*h)
8:30	0	0.0	112	68	61%	1.5455	1.5455	0	0
9:00	30	0.5	110	66		1.5000	1.5000	0.0909	79.3651
9:30	60	1.0	107	63		1.4318	1.4318	0.1364	119.0476
10:00	90	1.5	103	59		1.3409	1.3409	0.1818	158.7302
10:30	120	2.0	99	55		1.2500	1.2500	0.1818	158.7302
11:00	150	2.5	95	51		1.1591	1.1591	0.1818	158.7302
11:30	180	3.0	91	47		1.0682	1.0682	0.1818	158.7302
12:00	210	3.5	87	43		0.9773	0.9773	0.1818	158.7302
12:30	240	4.0	83	39		0.8864	0.8864	0.1818	158.7302
13:00	270	4.5	78	34		0.7727	0.7727	0.2273	198.4127
13:30	300	5.0	73	29		0.6591	0.6591	0.2273	198.4127
14:00	330	5.5	68	24		0.5455	0.5455	0.2273	198.4127
14:30	360	6.0	65	21		0.4773	0.4773	0.1364	119.0476
15:00	390	6.5	61	17		0.3864	0.3864	0.1818	158.7302
15:30	420	7.0	58	14		0.3182	0.3182	0.1364	119.0476
16:00	450	7.5	54	10		0.2273	0.2273	0.1818	158.7302
16:30	480	8.0	47	3		0.0682	0.0682	0.3182	277.7778
17:00	510	8.5	47	3		0.0682	0.0682	0.0000	0.0000
17:30	540	9.0	46	2		0.0455	0.0455	0.0455	39.6825
18:00	570	9.5	46	2		0.0455	0.0455	0.0000	0.0000
18:30	600	10.0	45	1		0.0227	0.0227	0.0455	39.6825
19:00	630	10.5	45	1		0.0227	0.0227	0.0000	0.0000
19:30	660	11.0	45	1		0.0227	0.0227	0.0000	0.0000
20:00	690	11.5	45	1		0.0227	0.0227	0.0000	0.0000
20:30	720	12.0	45	1		0.0227	0.0227	0.0000	0.0000
21:00	750	12.5	44	0		0.0000	0.0000	0.0455	39.6825
21:30	780	13.0	44	0		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22:00	810	13.5	44	0		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22:30	840	14.0	44	0		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23:00	870	14.5	44	0		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23:30	900	15.0	44	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
0:00	930	15.5	44	0	0	0	0	0	

Realizado por: Llano, D., 2024

Cont. ANEXO C: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 1.

DATOS			
Humedad base húmeda	61%		
Masa total (g)	112		
Masa seca (g)	44		
Masa agua	68		
Ancho bandeja (cm)	18	0.18	(m)
Largo bandeja (cm)	28	0.28	
Área de secado (cm ²)	504	0.0504	
Peso bandeja (g)	24		
Peso Inicial total (g)	112		
Peso de toda la caseína (g)	112		
Peso de caseína después del proceso (g)	44		
Humedad de equilibrio	0		
Humedad crítica	0.0682		
Rendimiento (%)	60.71		

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO D: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 2.

L2									
Hora	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Peso Caseína(g)	Peso agua (g)	Humedad base húmeda	Humedad base seca	Xlibre	DELTA X/DELTA T	N (gh2o/cm2*h)
8:30	0	0.0	149	95	64%	1.7593	1.7593	0	0
9:00	60	0.5	148	94		1.7407	1.7407	0.0370	39.6825
9:30	90	1.0	144	90		1.6667	1.6667	0.1481	158.7302
10:00	120	1.5	141	87		1.6111	1.6111	0.1111	119.0476
10:30	150	2.0	137	83		1.5370	1.5370	0.1481	158.7302
11:00	180	2.5	132	78		1.4444	1.4444	0.1852	198.4127
11:30	210	3.0	126	72		1.3333	1.3333	0.2222	238.0952
12:00	240	3.5	123	69		1.2778	1.2778	0.1111	119.0476
12:30	270	4.0	117	63		1.1667	1.1667	0.2222	238.0952
13:00	300	4.5	114	60		1.1111	1.1111	0.1111	119.0476
13:30	330	5.0	108	54		1.0000	1.0000	0.2222	238.0952
14:00	360	5.5	104	50		0.9259	0.9259	0.1481	158.7302
14:30	390	6.0	100	46		0.8519	0.8519	0.1481	158.7302
15:00	420	6.5	95	41		0.7593	0.7593	0.1852	198.4127
15:30	450	7.0	88	34		0.6296	0.6296	0.2593	277.7778
16:00	480	7.5	84	30		0.5556	0.5556	0.1481	158.7302
16:30	510	8.0	65	11		0.2037	0.2037	0.7037	753.9683
17:00	540	8.5	63	9		0.1667	0.1667	0.0741	79.3651
17:30	570	9.0	61	7		0.1296	0.1296	0.0741	79.3651
18:00	600	9.5	59	5		0.0926	0.0926	0.0741	79.3651
18:30	630	10.0	58	4		0.0741	0.0741	0.0370	39.6825
19:00	660	10.5	57	3		0.0556	0.0556	0.0370	39.6825
19:30	690	11.0	56	2		0.0370	0.0370	0.0370	39.6825
20:00	720	11.5	56	2		0.0370	0.0370	0.0000	0.0000
20:30	750	12.0	55	1		0.0185	0.0185	0.0370	39.6825
21:00	780	12.5	55	1		0.0185	0.0185	0.0000	0.0000
21:30	810	13.0	54	0		0.0000	0.0000	0.0370	39.6825
22:00	840	13.5	54	0		0.0000	0.0000	0.0000	0
22:30	870	14.0	54	0		0.0000	0.0000	0.0000	0
23:00	900	14.5	54	0		0.0000	0.0000	0.0000	0
23:30	930	15.0	54	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	
0:00	0	15.5	54	0	0	0	0	0	

Realizado por: Llano, D., 2024

Cont. ANEXO D: DATOS PARA CURVA DE SECADO DEL LOTE 2.

DATOS			
Humedad base húmeda	64%		
Masa total (g)	149		
Masa seca (g)	54		
Masa agua	95		
Ancho bandeja (cm)	18	0.18	(m)
Largo bandeja (cm)	28	0.28	
Área de secado (cm ²)	504	0.0504	
Peso bandeja (g)	26		
Peso Inicial total (g)	149		
Peso de toda la caseína (g)	149		
Peso de caseína después del proceso (g)	54		
Humedad de equilibrio	0		
Humedad crítica	0.1667		
Rendimiento (%)	63.76		

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DE LA PROTEÍNA.



Fotografía N° 15. Análisis en el equipo LACTOSCAN.



Fotografía N° 16. Prueba de cenizas.




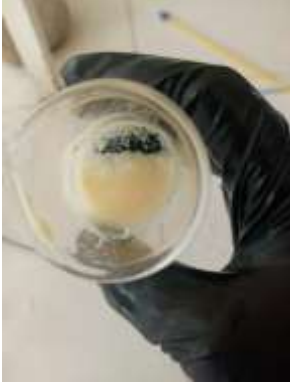

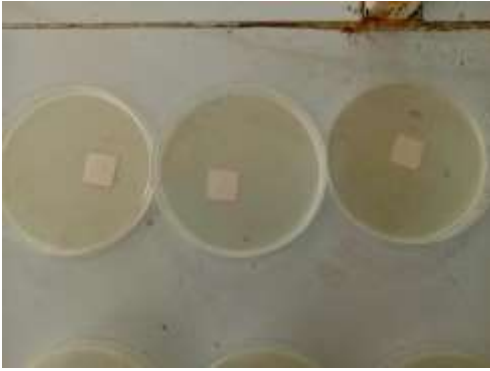


Fotografía N° 17. Muestras en mufla.



Fotografía N° 18. Análisis de humedad.

ANEXO F: PROCESO PARA DESARROLLAR LA PELÍCULA TEXTIL.

 A photograph showing various laboratory materials on a white surface, including several small glass vials containing yellowish substances, two brown bottles, a pair of tweezers, a scalpel, and a small red cap.	 A photograph of a digital analytical scale with a glass weighing boat on top. The scale's display shows the number "1.000".
<p>Fotografía N° 19. Preparación de materiales.</p>	<p>Fotografía N° 20. Pesado de 1 gramo de caseína.</p>
 A close-up photograph showing a glass vial containing a yellowish mixture. A glass rod is being used to stir the contents. A small amount of liquid is being added from a pipette.	 A photograph showing a person wearing a black nitrile glove holding a glass vial. The vial contains a yellowish mixture with a small amount of dark blue/black powder being added.
<p>Fotografía N° 21. Adición de 2 ml de agua destilada y glicerina.</p>	<p>Fotografía N° 22. Añadir y mezclar 1 ml de NaOH (0.2 – 0.5M) respectivamente.</p>
 A photograph showing a glass vial containing a yellowish mixture being heated on a magnetic stirrer. The vial is placed on a metal mesh over a black heating plate. A yellow liquid is being poured into the vial.	 A photograph showing three white circular plates arranged in a row on a white surface. Each plate contains a small square piece of white material, likely the dried film.
<p>Fotografía N° 23. Calentar la mezcla a las diferentes temperaturas (65 – 70 – 75 °C).</p>	<p>Fotografía N° 24. Colocar en las placas y secar a 45 °C.</p>

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DE LA PELÍCULA TEXTIL - REACCIÓN A LA LLAMA.



Fotografía N° 25. Tamaño de 2x2 cm de película textil.



Fotografía N° 26. Se funde cerca de la llama.



Fotografía N° 27. Se contrae y se aleja de la llama.



Fotografía N° 28. La película arde con la llama.



Fotografía N° 29. La película textil arde y continúa quemando al retirar de la llama.



Fotografía N° 30. Apariencia de ceniza después de apagarse la llama.

Realizado por: Llano, D., 2024

ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DE LA PELÍCULA TEXTIL - SOLUBILIDAD.



	
Fotografía N° 31. Solubilidad con 6 ml de ácido acético.	Fotografía N° 32. Película insoluble en ácido acético
	
Fotografía N° 33. Solubilidad con 6 ml de acetona junto con 0.06 gramos de película.	Fotografía N° 34. Insoluble en acetona.
	
Fotografía N° 35. Solubilidad con 1 ml de ácido fórmico y con 0.01 gramo de película.	Fotografía N° 36. Insoluble en ácido fórmico.
	
Fotografía N° 37. Solubilidad con 1 ml de ácido sulfúrico con 0.01 gramo de película.	Fotografía N° 38. Insoluble en ácido sulfúrico.

Realizado por: Llano, D., 2024



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

Fecha de entrega: 22/ 07 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Daliz Nicolle Llano Gualpa
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
 Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, MSc. Director del Trabajo de Integración Curricular
 Dr. Robert Alcides Cazar Ramirez, Ph.D. Asesor del Trabajo de Integración Curricular