



Utilización del residuo sólido del proceso de dividido de la industria de curtiembre al cromo para la extracción de gelatina y la elaboración de una película multipropósito.

Mendoza Frías, Ricardo Wenceslao

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Petroquímico

Dr. Roman Nicolay, Rodríguez Maecker

07 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



ROMAN NICOLAY
RODRIGUEZ MAECKER

Document Information

Analyzed document	Tesis - Ricardo Mendoza - ESPEL.pdf (D157764261)
Submitted	2/3/2023 4:47:00 PM
Submitted by	Arancibia Mirari
Submitter email	marancibias@uta.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	marancibias.uta@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / Tesis Liliana Casa 17-12-2020_6.docx Document Tesis Liliana Casa 17-12-2020_6.docx (D90401258) Submitted by: da.cabrera@uta.edu.ec Receiver: da.cabrera.uta@analysis.arkund.com	  2
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / "Actualidad de la reutilización y reciclaje de desechos provenientes de curtiembr es, revisión en Ecuador y el mundo".pdf Document "Actualidad de la reutilización y reciclaje de desechos provenientes de curtiembr es, revisión en Ecuador y el mundo".pdf (D142565884) Submitted by: ne.flores@uta.edu.ec Receiver: ne.flores.uta@analysis.arkund.com	  1
W	URL: https://doi.org/10.1186/s42825-019-0008-6 Fetched: 2/3/2023 4:53:00 PM	  1
W	URL: https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530 Fetched: 2/3/2023 4:53:00 PM	  1
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / submission.pdf Document submission.pdf (D91601007) Submitted by: mcondo9180@uta.edu.ec Receiver: deadv.pved.06.uta@analysis.arkund.com	  1



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Utilización del residuo sólido del proceso de dividido de la industria de curtiembre al cromo como base de un proceso de biorrefinería para la extracción de gelatina y la elaboración de una película de látex-gelatina"** fue realizado por el señor **Mendoza Frías, Ricardo Wenceslao**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de febrero de 2023



firmado electrónicamente por:
ROMÁN NICOLAY
RODRIGUEZ MAECKER

Dr. Román Nicolay, Rodríguez Maecker

C.C: 1712082120



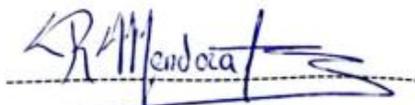
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Mendoza Frías Ricardo Wenceslao** con cédula de ciudadanía n° 1600734394, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo integración curricular: **Utilización del residuo sólido del proceso de dividido de la industria de curtiembre al cromo como base de un proceso de biorrefinería para la extracción de gelatina y la elaboración de una película de látex-gelatina.** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de febrero de 2023



Mendoza Frías Ricardo Wenceslao

C.C: 1600734394



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Autorización de Publicación

Yo, **Mendoza Frías Ricardo Wenceslao** con cédula de ciudadanía n° 1600734394, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Utilización del residuo sólido del proceso de dividido de la industria de curtiembre al cromo como base de un proceso de biorrefinería para la extracción de gelatina y la elaboración de una película de látex-gelatina en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.**

Latacunga, 03 de febrero del 2023



Mendoza Frías Ricardo Wenceslao

C.C: 1600734394

Dedicatoria

A mis queridos padres, por su constante apoyo y amor incondicional que me han brindado durante todos estos años. Gracias por creer en mí y ayudarme a alcanzar mis metas.

A mí mismo, por el arduo trabajo y dedicación que he puesto en la realización de esta tesis. Gracias por ser mi propia motivación y por no rendirme ante los desafíos.

Esta dedicatoria es un reconocimiento a todas las personas que han formado parte de mi camino y me han ayudado a llegar hasta aquí. Gracias a todos por su amor y apoyo incondicional.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dr. Roman Rodríguez por su guía, conocimiento y apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis. Gracias por su paciencia y dedicación en ayudarme a crecer como profesional.

A la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y a los laboratorios de la facultad de Alimentos, agradezco su ayuda desinteresada y sus recursos para llevar a cabo esta investigación.

A la Espe, por formarme como profesional y brindarme las herramientas necesarias para lograr mis metas.

A mis amigos Mishell, Alvaro y Pablo, agradezco su amistad y apoyo durante este viaje de aprendizaje y crecimiento. Gracias por estar ahí en los momentos difíciles y por compartir conmigo los buenos momentos.

Estos agradecimientos son solo un pequeño gesto de mi gratitud por todo lo que han hecho por mí y por mi formación como profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de tablas	13
Índice de figuras	14
Índice de abreviaturas.	16
Resumen	17
Abstract	18
Capítulo I: Generalidades.....	19
Introducción.	19
Planteamiento del problema.....	20
Justificación e importancia.	21
Alcance.....	21
Objetivos.....	22
<i>Objetivo Principal</i>	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
Hipótesis	22

Variables	22
<i>Variables dependientes</i>	22
<i>Variables independientes</i>	22
Capítulo II: Fundamentación teórica.....	23
El cuero dentro del Ecuador.	23
Proceso de Ribera.	24
<i>Obtención de la materia prima</i>	24
Curtido	24
Tratamiento de los residuos	25
Carnaza	25
Gelatina.....	25
<i>Generalidades de las proteínas.</i>	25
<i>Hidrocoloide</i>	26
<i>Generalidades de la gelatina.</i>	26
<i>Estructura de la gelatina</i>	27
<i>Ventajas y desventajas del uso de la gelatina</i>	30
Colágeno.	30
<i>Estructura de colágeno.</i>	31
Extracción de gelatina.	32
Látex.	33
Carbón activado (CA)	36
Diseño factorial 2 ^k	37

	10
Análisis de infrarrojo por transformada de Fourier.....	37
Capítulo III: Metodología	39
Reactivos.....	39
Materia prima	39
Materiales	39
Equipos	40
Pretratamiento de la muestra.	42
Tratamiento de la carnaza.....	43
Proceso ácido.	44
pH de la solución.	44
Concentración molar del ácido clorhídrico.	45
Calculo para obtener la cantidad de ácido clorhídrico al 5% V/V.....	45
Tratamiento alcalino.....	46
Cálculo de la concentración de NaOH	47
pH de la solución.	47
Tiempo de hidrolizado.	48
Neutralización.	49
Neutralización utilizando H ₂ O.....	49
Neutralización con control de pH.....	50
Extracción de la gelatina.	50
<i>Proceso de extracción.....</i>	<i>50</i>
Proceso de filtrado.....	51

	11
Proceso de secado	52
Diseño experimental.....	53
<i>Diseño factorial</i>	54
Diseño del prototipo	58
<i>Solución de látex-gelatina.</i>	58
<i>Secado del copolímero</i>	59
<i>Formación del prototipo.</i>	59
Residuo.	59
Capítulo IV: Análisis de resultados	60
Proceso de extracción	60
Análisis del diseño experimental del proceso 3	61
<i>Espectros IR</i>	65
<i>Gelatina</i>	65
<i>Película de gelatina.</i>	67
<i>Residuo del proceso de extracción de gelatina</i>	68
Análisis TGA.....	70
<i>Gelatina</i>	70
<i>TGA Látex-gelatina</i>	72
Dumas	74
Retención de agua	76
Análisis de tensión.	78
Microscopio EVOS.....	82

	12
Recuperación de la carnaza.....	84
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	85
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	87
Bibliografía.....	88
Anexos.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de gelatina</i>	28
Tabla 2 <i>Aminoácidos presentes en la gelatina</i>	29
Tabla 3 <i>Ventajas y desventajas de la gelatina</i>	30
Tabla 4 <i>Tipos de colágeno</i>	31
Tabla 5 <i>Constituyentes del látex</i>	34
Tabla 6 <i>Composición del látex</i>	35
Tabla 7 <i>Fuentes de C.A</i>	36
Tabla 8 <i>Tiempo de hidrolizado</i>	48
Tabla 9 <i>Resumen del tiempo de extracción</i>	50
Tabla 10 <i>Condiciones de secado</i>	52
Tabla 11 <i>Factores de las variables dependientes del proceso 2 y 3</i>	54
Tabla 12 <i>Matriz experimental del proceso 2 y 3</i>	55
Tabla 12 <i>Matriz experimental del proceso 2 y 3</i>	56
Tabla 13 <i>Matriz experimental del proceso 2 y 3 con su rendimiento</i>	57
Tabla 13 <i>Matriz experimental del proceso 2 y 3 con su rendimiento</i>	58
Tabla 14 <i>Tabla de análisis de varianza de proceso 2 y 3</i>	60
Tabla 15 <i>Principales picos IR de la gelatina</i>	66
Tabla 16 <i>Principales picos IR de la película de gelatina</i>	67
Tabla 16 <i>Principales picos IR de la película de gelatina</i>	68
Tabla 17 <i>Principales picos IR del residuo de extracción</i>	70
Tabla 18 <i>Retención de agua</i>	77
Tabla 19 <i>Relación látex-gelatina en ensayos de tensión</i>	79
Tabla 20 <i>Resultados prueba de tensión</i>	79
Tabla 21 <i>Estadística de los procesos</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Secuencia molecular de la gelatina común</i>	27
Figura 2 <i>Molécula del poli isopreno</i>	33
Figura 3 <i>Resumen de los procesos de extracción</i>	41
Figura 4 <i>Obtención de la carnaza</i>	42
Figura 5 <i>Almacenamiento de carnaza</i>	43
Figura 6 <i>Tratamiento de la carnaza</i>	43
Figura 7 <i>Tratamiento ácido</i>	44
Figura 8 <i>Medida de pH</i>	45
Figura 9 <i>Lavado de carnaza</i>	46
Figura 10 <i>Preparación de una solución de sosa caustica</i>	47
Figura 11 <i>Solución alcalina</i>	48
Figura 12 <i>Proceso de extracción de gelatina</i>	49
Figura 13 <i>Licor de extracción</i>	51
Figura 14 <i>Proceso de filtrado</i>	52
Figura 15 <i>Resultado del proceso de secado</i>	53
Figura 16 <i>Gráfica de residuos normal</i>	61
Figura 17 <i>Tabla de efecto normalizado</i>	62
Figura 18 <i>Análisis de Pareto</i>	63
Figura 19 <i>Gráfica residuo vs predicción</i>	64
Figura 20 <i>Espectro infrarrojo de la gelatina en el laboratorio</i>	65
Figura 21 <i>Espectro infrarrojo de la gelatina</i>	66
Figura 22 <i>Película de gelatina</i>	67
Figura 23 <i>IR del residuo de extracción</i>	69
Figura 24 <i>Espectro de colágeno</i>	69
Figura 25 <i>Gráfica de TGA de la gelatina</i>	71

Figura 26 <i>Primera derivada de un TGA de gelatina</i>	72
Figura 27 <i>TGA de Látex-gelatina</i>	73
Figura 28 <i>TGA de látex natura y látex con PEG obtenidos de la literatura</i>	74
Figura 29 <i>Análisis dumas</i>	75
Figura 30 <i>Gráfico de retención de agua</i>	78
Figura 31 <i>Gráficos de la prueba de tensión</i>	81
Figura 32 <i>Microscopía óptica gelatina y colágeno</i>	82
Figura 33 <i>Comparación del copolímero GL y látex comercial</i>	83
Figura 34 <i>Estructura del colágeno</i>	84

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

CA. Carbón activado.

IR. Infrarrojo

FTIR. Infrarrojo por transformada de Fourier

GL. polímero látex-gelatina

RUC. Registro único de contribuyente.

Resumen

El presente trabajo trata sobre la extracción de gelatina de los residuos de descarnado en la industria curtiembre y su combinación con látex natural para producir un copolímero biodegradable. El proceso de curtiembre al cromo produce una gran cantidad de residuos sólidos y es un problema creciente en la industria. La extracción de gelatina de estos residuos y su combinación con látex natural se propone como una solución para crear un copolímero biodegradable y multifuncional. Este proyecto podría sentar las bases para la producción a pequeña escala de productos a base de látex y gelatina en las principales curtiembres del país. No se han realizado estudios exhaustivos sobre este tipo de copolímero en el país, por lo que se considera una posible solución. Se encontró que el mejor proceso para la extracción de gelatina permitió recuperar 4.24 gramos de gelatina (14.13% del peso total inicial de la muestra y 81.7191% del colágeno). El polímero látex - gelatina aumenta la temperatura máxima de degradación en un equipo TGA y pierde cerca del 94.59% de su masa cuando alcanza los 400°C. La relación Látex-Gelatina más adecuado para la tensión obtenida en el texturómetro, permitió un soporte de carga medio de 1162.2 gramos y una desviación estándar de 134.7 gramos. Sin embargo, el equipo utilizado presenta limitaciones en la medición del punto de rotura de la película de látex - gelatina. La tesis busca solucionar el problema de la generación de desechos sólidos en la industria de curtiembre y proporcionar una alternativa sostenible para la producción de productos a base de látex y gelatina.

Palabras clave: Látex natural, extracción de gelatina, hidrolizado, colágeno, industria de curtiembre.

Abstract

This paper deals with the extraction of gelatin from skinning residues in the tanning industry and its combination with natural latex to produce a biodegradable copolymer. The chrome tanning process produces a large amount of solid waste and is a growing problem in the industry. Gelatin extraction from these residues and its combination with natural latex is proposed as a solution to create a biodegradable and multifunctional copolymer. This project could lay the foundations for small-scale production of latex and gelatin-based products in the country's main tanneries. No exhaustive studies have been carried out on this type of copolymer in the country, so it is considered a possible solution. It was found that the best process for gelatin extraction allowed to recover 4.24 grams of gelatin (14.13% of the total initial weight of the sample and 81.7191% of collagen). The latex-gelatin polymer increases the maximum degradation temperature in a TGA equipment and loses about 94.59% of its mass when it reaches 400°C. The most suitable Latex-Gelatin ratio for the tension obtained in the texturometer, allowed a mean load support of 1162.2 grams and a standard deviation of 134.7 grams. However, the equipment used presents limitations in measuring the breaking point of the latex-gelatin film. The thesis seeks to solve the problem of solid waste generation in the tanning industry and provide a sustainable alternative for the production of latex and gelatin-based products.

Keywords: Natural latex, gelatin extraction, hydrolyzate, collagen, tanning industry.

Capítulo I

Generalidades

Introducción.

La industria del cuero en Ecuador requiere de una gran variedad de maquinaria debido a la complejidad estructural de la piel animal. Esta tiene 3 capas: la externa o epidermis, la media o dermis y la inferior o subcutánea. En las curtiembres, el producto de interés se elabora a partir de la epidermis (tejido conectivo grueso) y debe pasar por varios procesos que generan distintos tipos de desechos, como sebo, pelambre, carnaza, wet blue, entre otros. Una fábrica normal de cuero puede producir unas 30 toneladas de estos desechos al día, los cuales tienen un fuerte impacto ambiental debido a las altas concentraciones de químicos como el cromo y los sulfuros. Por lo tanto, es necesario un correcto tratamiento de estos desechos para convertirlos en productos útiles que puedan ser utilizados en otros campos (Hänninen, 2003).

En la actualidad existen varios métodos para tratar los desechos de esta industria los cuales pueden ser físicos, químicos o tratamientos mediante enzimas (hidrolíticos). En el caso de la carnaza y el sebo los esfuerzos se centran en la extracción del colágeno previamente tratado con una solución ácida y su posterior hidrólisis a 125 °C. En la curtiembre de Tungurahua han tratado de implementar algunos métodos para aprovechar todos los subproductos del cuero de una manera eficiente entre los que destaca la producción de un bio fertilizante que ya cuenta con una pequeña planta de producción que se encuentra en operación y cuyo producto está en proceso de obtener su certificación para ser comercializado.

El tratamiento de la piel animal (Principalmente bovina) a parte de satisfacer una demanda dentro del desarrollo social también contribuye a la economía global pues anualmente mueve miles de millones de dólares al ser utilizado en varios campos desde la vestimenta, tapicería, muebles, calzado, ganadería entre otros (Li, Y. (2019).

El procesamiento de una tonelada de cuero es capaz de generar cerca de unos 200 kg de cuero acabado, 350 kg pertenecen a sólidos no curtidos, 250 kg de sólidos curtidos, y el resto en desechos perdidos dentro de aguas residuales. Actualmente a nivel global se producen a año un aproximado de 6 millones de toneladas de desechos sólidos con China e India produciendo 1,4 y 1.5 millones de toneladas de desperdicios sólidos al año respectivamente (Rùiz & Basualdo, 2001).

El látex proveniente del árbol *Hevea Brasiliensis* sirve como punto de partida para un gran número de productos como guantes quirúrgicos, adhesivos, mangueras, pintura etc. Proviene originariamente en la selva amazónica, aunque en la actualidad se lo puede encontrar en cualquier clima. Países como Colombia cuentan con más de 28 mil hectáreas para la explotación de este recurso, aunque hasta el año 2014 se tenía el registro de solo 4283 hectáreas se encuentran en funcionamiento y se prevé una producción de 30823 toneladas de látex para el 2018. (Camacho-Támara et al., 2014)

Planteamiento del problema.

En el Ecuador hasta el año 2017 se han registrado un aproximado de 57 tenerías dentro del cantón Ambato de las cuales el 64.91% cuentan con RUC y el 54,94% poseen una licencia Ambiental, el cual es un porcentaje relativamente alto considerando que 44 de estos negocios corresponden a curtiembres de tipo artesanal y únicamente 10 de estas empresas realizan un tratamiento de alto nivel a sus desechos (Masabanda, 2017).

Considerando que muchas de las curtimbres artesanales no brindan un manejo adecuado de sus desechos de una forma correcta es imperativo encontrar nuevos métodos para aprovechar y optimizar todas las partes de la piel animal. La gelatina natural es una proteína compuesta por varios aminoácidos, la cual es obtenida a partir hidrólisis parcial del colágeno presente en los tejidos conectivos de animales en especial los bovinos, caprinos y porcinos. El uso de la carnaza seca presenta una fuerte ventaja en la industria debido a que puede ser almacenada por largos periodos de tiempo sin perder ninguna de sus propiedades (Rodríguez M. B.,1990).

La gelatina obtenida de los residuos del proceso de divido o descarne puede ayudar a mejorar las propiedades mecánicas de látex natural dotándolo de una mayor estabilidad térmica, una mejor elasticidad y la resistencia a la tensión. El copolímero obtenido puede ser usado como un sustituto biodegradable a otros aditivos utilizados en la vulcanización.

Justificación e importancia.

El proceso de curtiembre al cromo produce una fuerte cantidad de desechos sólidos al año y con el pasar de los años se ha convertido en un problema serio dentro de esta industria. Las soluciones más comunes han sido la fabricación de fertilizantes orgánicos a base de desechos sólidos o la producción a menor escala de biodiesel. En un afán de encontrar soluciones más atractivas el método presentado en el siguiente trabajo se centra en la extracción de la gelatina proveniente de los residuos del proceso de divido combinándolo con látex natural para la elaboración de un copolímero biodegradable y multipropósito. En el país no se han realizado estudios a fondo de este tipo de copolímero por lo cual se considera que el proyecto presenta una posible solución dentro de la región que podría servir para sentar bases a una posible producción a menor escala dentro de las principales curtiembres del país brindando una oportunidad al sector para producir productos a base de látex y gelatina como guantes, bandas, pintura para interiores, colchones etc.

Alcance.

La presente tesis tiene como objetivo principal la extracción de la gelatina proveniente del residuo de descarnado para su posterior combinación con el látex natural en la producción a pequeña escala de un copolímero biodegradable y multipropósito. La meta es encontrar una solución más atractiva al problema de la generación de desechos sólidos en la industria de la curtiembre y proporcionar una alternativa sostenible para la producción de productos a base de látex y gelatina.

Objetivos

Objetivo Principal

- Aprovechar el residuo sólido del proceso de dividido de la industria de curtiembre al cromo para la extracción de gelatina y la elaboración de una película multipropósito.

Objetivos específicos

- Extraer gelatina a partir de los desechos sólidos del proceso de divido.
- Elaborar un copolímero de gelatina y látex natural con propiedades multiuso
- Caracterizar fisicoquímicamente la gelatina y el copolímero multipropósito para determinar sus posibles aplicaciones.

Hipótesis

La implementación de gelatina en la elaboración de películas biodegradables mejora las propiedades mecánicas del látex.

Variables

Variables dependientes

- Rendimiento de la extracción de gelatina.
- Valor de carga en pruebas de tensión.

Variables independientes

- Tiempo del proceso de secado.
- Temperatura de secado en la estufa.
- Relación del composite látex: Gelatina

Capítulo II

Fundamentación teórica

El cuero dentro del Ecuador.

El uso de las pieles animales en el Ecuador se remonta a la época precolombina, donde los aborígenes utilizaban dichas partes animales para la fabricación de escudos, calzado, abrigos contra el frío, entre otros, con la llegada de los españoles en el siglo XV dichas prácticas se volcaron de una forma directa a la manufactura a nivel industrial de ropa, calzado, pastas para libros, monturas de caballos, cinturones etc. En el siglo XIX, el mundo vería una nueva era en donde los caballos serían reemplazados por un novedoso invento (automóvil) obligando así a que la industria del cuero se centrara en el área textil y de calzado de esta forma cambiando las monturas por forros para autos. En el Ecuador, durante el periodo colonial, la ciudad de Ambato se convirtió en el eje central del curtido y confección artesanal de derivados del cuero bovino desde los años 70, durante los 90 se crea el ANCE o Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador y actualmente se procesan alrededor de 350 mil pieles al año donde su mercado se orienta principalmente a la elaboración de calzados, bolsos, guantes y una gran parte de la producción es exportada principalmente hacia Italia, Venezuela, Perú y Colombia. El Ecuador posee una vasta de producción de pieles no obstante su calidad no siempre se encuentra dentro de los estándares ya que la mayoría de las veces las pieles presentan marcas producidas por garrapatas, quemaduras, cortadas producidas por maltrato animal, mala alimentación, un mal faenamiento entre otros, principalmente en la costa, por otro lado, las pieles provenientes de la sierra presentan una mejora al poseer un cuero más fino que lo hace perfecto para la confección de calzado para mujeres. Los tres tipos de pieles más utilizados en el país se obtienen del ganado vacuno, caprino, ovino y porcino, la piel que presenta una mayor demanda es la que se obtienen de las vacas gracias que su resistencia y durabilidad las vuelven atractivas para el calzado (Salinas, 2014).

Proceso de Ribera.

La industria de la curtiembre tiene como objetivo principal someter las pieles de diversos animales a procesos químicos que involucran sales para obtener un material apenas permeable al agua, duradero, cómodo, flexible y que no sea perecible (Masabanda et al., 2017).

Es realizada en diversas fases:

Obtención de la materia prima

Las pieles son obtenidas de distintas partes del país, principalmente de la sierra ecuatoriana, en donde son previamente seleccionadas asegurándose que se encuentren dentro de los estándares de calidad.

Curado. Las pieles son sometidas a dos tipos de curado, el uno consiste en sumergir las pieles en salmuera para que de esta manera se eliminen todos los hongos o bacterias presentes en la superficie y la otra se centra en enterrar las pieles,

Depilación y rendido. La piel es despojada del pelo y lana para posteriormente proceder a un estiramiento de las fibras del colágeno.

Descarnado y desengrase. Se procede a separar la carnaza de la epidermis y luego se somete a un baño utilizando detergentes que le brindan una mayor elasticidad. Se utiliza máquinas especializadas para evitar el daño en las pieles.

Curtido

Los agentes de curtido normalmente utilizados son sales de cromo, aluminio o taninos, en este proceso se lleva a cabo el desencalado donde se elimina todas las sustancias alcalinas que resten en el cuero. En la purga se afloja la estructura del colágeno usando enzimas como el piquelado, esto permite una mejor curtición y evita la hinchazón de la piel (Masabanda et al., 2017).

Tratamiento de los residuos

El proceso de dividido tiene como objetivo principal la eliminación de capas de carne que pueden llegar a descomponerse y afectar la calidad del cuero, por otro lado, los desechos de la Curtiembre Tungurahua se pueden dividir en 2 grupos: Líquidos (aguas de efluentes, sebo, etc.) y sólidos (Carnaza, wet blue, polvo de cuero, trazas de cuero, etc.). Los desechos sólidos son utilizados para la elaboración de juguetes caninos en la empresa Agrocueros la cual tiene una producción mensual entre los 250 a 300 toneladas de carnaza que son enviados a los Estados Unidos, además de estos desechos se pueden obtener gelatina, fertilizantes y una gran cantidad son enviados a los botaderos de la ciudad de Ambato (Salinas, 2014).

Carnaza

Dentro de las actividades de curtiembre o recorte de pieles tenemos los desechos sólidos de pedazos de carne adherida a la piel del animal, los cuales son conocidos como carnaza, la cual puede ser utilizado para extraer proteínas como la gelatina, convertirse en biodiesel o como principal componente en la elaboración de juguetes para perros (Cury R et al., 2017).

Gelatina

Generalidades de las proteínas.

El cuerpo animal está conformado en su mayoría por diversas proteínas presentes en la piel, nervios, sangre, tendones, músculos entre otras estructuras. Desde un punto de vista químico las proteínas son consideradas polímeros conformados por unidades monoméricas llamadas aminoácidos que pueden clasificarse en proteínas fibrosas que consiste en polipéptidos lineales que forman estructuras de fibra u hoja, o pueden ser proteínas globulares que poseen una estructura tridimensional compleja que requieren de un plegamiento adecuado y una gran presión de cadena péptica (Eluk, 2006).

Hidrocoloide

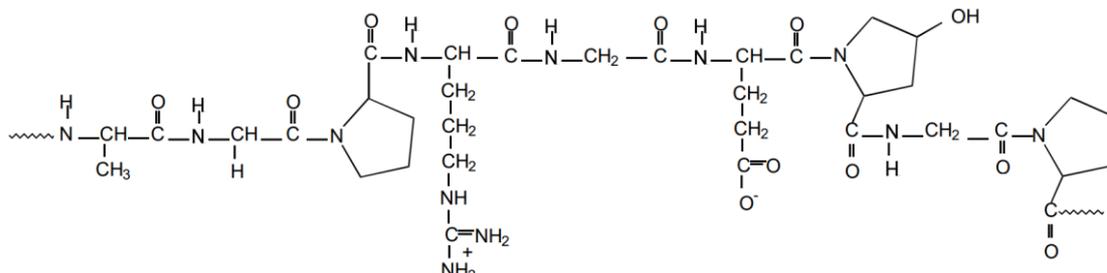
Son polímeros de alta densidad con la capacidad de disolverse en el agua y producir un efecto espesante, algunos incluso son capaces de formar un gel bajo ciertas condiciones empleados en la estabilización de emulsiones y suspensiones. La interacción de los polisacáridos en agua da paso a 2 posibles fenómenos: espesar mediante la retención del agua del ambiente o como un gelificante producido al construir una red interconectada con el sistema acuoso. Estos compuestos se encuentran en la industria en forma de polvo que es disuelto en agua a una cierta temperatura (80 °C) y para una correcta hidratación este debe ser agitado constantemente para evitar la formación de grupos o aglomeraciones (Rodríguez Sandoval, Eduardo, Sandoval Aldana, Angélica, 2003).

Generalidades de la gelatina.

Diversos ensayos de difracción de rayos x, microscopía electrónica o dispersión de la luz han demostrado que la gelatina posee una estructura similar a la del colágeno, aunque la primera presenta características propias que depende de la temperatura, concentración, pH, etc. La gelatina puede ser definida como un producto natural con un alto contenido proteico que se encuentra presente en la piel, hueso y músculo, este producto es soluble a 50 °C y está constituido por cerca del 10 % de sales, agua libre de aditivos y/o conservantes, posee una composición aminoácido que la caracteriza formada principalmente glicina, prolina, hidroxiprolina. Esta sustancia contiene 18 aminoácidos diferentes que conforman cadenas de hasta 100 monómeros conocidos como cadenas α , por otro lado, las cadenas que presente en sus pesos múltiplos 2 y 3 pueden formar cadenas β cuyas cadenas pueden ser lineales o ramificadas (Eluk, 2006).

Figura 1

Secuencia molecular de la gelatina común



Nota. Representación en 2D del monómero de la gelatina, Tomado de Dafna, Eluk, 2006, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química Universidad Nacional del Litoral.

La gelatina es uno de los hidrocoloides más importantes que posee diversas aplicaciones que va desde la industria alimentaria como un aditivo para espesar, espumar o gelificar alimentos como postres o bebidas; hasta la industria farmacéutica como microesferas, películas o cápsulas para medicamentos, en el campo biomédico como apósito para heridas, es un producto obtenido a partir de la hidrólisis parcial del colágeno obtenido de huesos, pieles y restos grasos de animales como vacas, cerdos, ovejas o cabras. En la actualidad existen muchas preocupaciones acerca de la obtención de la gelatina a partir de fuentes infectadas con virus o priones presentes en la materia prima que pueden provocar la enfermedad de Jacob, a esto sumado que algunas religiones como el judaísmo prohíbe el uso de la gelatina proveniente de cerdos y otras como la india que consideran a las vacas como animales sagrados se han buscado sin éxito alternativas sustentables (Karim & Bhat, 2008).

Estructura de la gelatina.

Con la superestructura de triple hélice del colágeno presente en los tejidos conectivos es necesario realizar una desnaturalización de la proteína con agua caliente en donde se solubilizarán las cadenas individuales y/o las pequeñas trazas del polímero, estas estructuras pueden recombinarse en nuevas estructuras, pero no necesariamente en el colágeno nativo, estas nuevas

estructuras son vitales para los procesos de gelificación, las regiones que presentan una gran abundancia de pirrolidina (Amina heterocíclica de 4 carbonos y un grupo amino) que servirán como puntos de nucleación con una longitud que oscila entre 20 y 30 aminoácidos, se encuentran estabilizados por puentes de hidrógeno que son muy parecidos a los encontrados en el colágeno, cabe recalcar que las conexiones entre los distintos tipos de unión están dadas por cadenas peptídicas muy maleables (Karim & Baht, 2008).

Tabla 1

Tipos de gelatina

Gelatina Tipo A	Gelatina Tipo B
Obtenido a partir de un pretratamiento ácido	Obtenido de un pretratamiento alcalino o básico
Posee un factor de proteína de 5.46	Posee un factor de proteína de 5.51
Las gelatinas con un punto isoeléctrico mayor tienen a tener un pH alrededor de 7	Posee un pH cerca de 4.5.
Posee mayores poderes gelificantes	Utilizados en suspensiones

Nota. Diferencia entre los 2 tipos de gelatina común obtenidos en la industria recalando las diferencias importantes de cada uno. Tomado de Johnston-Banks, 1990, *Gelatine. Food Gels*

En la tabla 1 se detallan las principales diferencias que se pueden encontrar entre la gelatina tipo "a" y tipo "b" las cuales pueden ser utilizadas en función de su aplicación, la tipo "a" posee un efecto gelificante más estable y puede ser utilizada en la elaboración de alimentos o como sustituto del agar agar mientras que la tipo "b" es usada en suspensiones o como un agente espesante. Por otro lado la tabla 2 presenta los principales aminoácidos presentes en la gelatina.

Tabla 2*Aminoácidos presentes en la gelatina*

Aminoácido	%
Hidroxiprolina	22.6
Prolina	13.8
Lisina	3.7
Hidroxilisina	0.7
Glicina	22.6
Cisteína	0
Serina	3.5
Alanina	9.1
Histidina	0.7
Valina	2.3
Metionina	0.8
Isoleucina	1.3
Leucina	2.9
Arginina	7.6
Fenilalanina	2.0
Ácido Aspártico	5.7
Threonina	1.9
Ácido Glutámico	9.5
Tirosina	0.2
Total	100

Nota. Porcentaje de los aminoácidos presentes en la gelatina común. Tomado de Johnston-Banks, 1990, *Gelatine. Food Gels*

Ventajas y desventajas del uso de la gelatina

La gelatina actualmente es uno de los hidrocoloides más utilizados a nivel industrial. En la tabla 3 se destacan sus principales ventajas y desventajas.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la gelatina

Ventajas	Desventajas
Fácil de procesar	Poco estable al calor
Multifunción: espesante, gelificante, emulsionante, formación de películas.	Gelificación lenta
Bajo punto de fusión	Bajo punto de gelificación
Elástico	Soluble a temperaturas elevadas
Fuente de proteína	Problemas con la fuente (Salud, Religión, vegetarianos, veganos)
Aplicación en medicina: previene la osteoartritis y osteoporosis	

Nota. Principales ventajas y desventajas al momento de seleccionar la gelatina como un agente gelificante. Tomado de A. Karim, 2008, *Trends in Food Science and Technology*.

Colágeno.

Las fibras de colágeno tienen como característica principal ser muy flexible, con longitud indefinida y un espesor que puede variar. Está conformada por uno o más haces de subunidades filamentosas denominadas como “fibrillas colagénicas” cuya cadena se repite cada 64 nm, la dureza

de estas fibrillas dependen de los enlaces covalentes que se crean entre las fibrillas de colágeno adyacentes. Dentro de la industria, la estructura del colágeno puede descomponerse en cadenas asiladas de gelatina α , b y g que cuando se rehidratan pueden volver a su estado tropocolágeno que es su estado natural.

Es una glicoproteína y constituyen del 55 % al 95 % del tejido conectivo de los animales, compuesto de tropocolágeno con una longitud de 2800 Armstrong de longitud y un diámetro que ronda los 14 A, forma tejidos como cartílagos, tendones y ligamentos con una estructura de superhélice (Polipéptidos helicoidales) y representa una estructura cuaternaria dentro de la clasificación de los polímeros, esta estructura está estabilizada por puentes de hidrógeno, enlaces covalentes y fuerzas de Van de Waals (Mamani-Huamán, 2018).

Estructura de colágeno.

Está conformado por tres cadenas poli pépticas y en su estructura primaria se tiene una secuencia repetitiva de prolina, glicina, hidroxiprolina entre otros aminoácidos en una hélice denominada hélice α , la fusión de 3 cadenas α forman la superhélice denominada tropocolágeno, los aminoácidos de prolina e hidroxiprolina se relacionan con la estabilidad térmica de los tejidos conectivos (Mamani-Huamán, 2018).

Tipos de colágeno. Los diferentes tipos de colágeno se detallan en la tabla 4:

Tabla 4

Tipos de colágeno

Tipo	Composición molecular	Localización
I	$[\alpha 1 (I)] 2\alpha 2 (I)$	Piel, tendón, huesos, dentina
II	$[\alpha 1 (II)]3$	Cartílago, discos, vitreos, notocordina
III	$[\alpha 1 (III)]3$	Sistemas vasculares, piel, intestinos
IV	$[\alpha 1 (IV)]2\alpha 2(IV)$ o $[\alpha 1 (IV)]3$	Membrana Basal

Tipo	Composición molecular	Localización
V	$[\alpha 1 (V)]_2\alpha 2 (V)$	Tejido embrionario, piel, sistema vascular
VI	$\alpha 1 (VI)\alpha 2 (VI)\alpha 3 (VI)$	Sistema vascular
VII	A	Membrana amniótica, piel
VIII	A	Endotelio aórtico
IX	$\alpha 1 (IX) \alpha 2 (IX)\alpha 3 (IX)$	Cartílago
X	$[\alpha 1 (X)]_3$	Cartílago
XI	$\alpha 1 \alpha 2 \alpha 3$	Cartílago

Nota. Tipos de colágeno y la fuente de donde son obtenidos, Tomado de Mamani-Huamán, 2018, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Extracción de gelatina.

Durante el proceso de curtiembre al cromo se produce una vasta cantidad de residuos sólidos, entre los que tenemos la carnaza, wet blue, polvo de cuero, pelambre y sebo. Aunque la piel sin curtir no es considerada un residuo peligroso, su naturaleza orgánica la hace susceptible a la descomposición, por lo cual su “tratamiento” muchas veces se basa en llevarlas directamente al vertedero (Pérez et al., 2016).

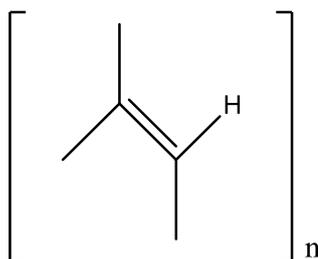
Para el proceso de extracción de la gelatina a partir de pieles se requiere de un pretratamiento antes de la extracción, el tratamiento alcalino requiere de un largo periodo de tiempo hasta que los residuos presenten condiciones de extracción, teniendo como función principal las rupturas de las retículas de colágeno con la finalidad de mejorar la extracción y la eliminación de proteínas no colagenosas y otras sustancias no proteicas. Luego los restos son lavados varias veces para eliminar la alcalinidad de la muestra.

Látex.

El látex natural es un polímero conformado principalmente de monómeros de isopreno y presenta uniones irregulares del 1 o 4 carbonos, su nombre IUPAC es 1,4 poli isopreno. Las macromoléculas formadas a partir de este compuesto tienen como característica principal ser en extremo flexible a causa de un exceso en los puntos de rotación que se pueden dar durante la polimerización con casi un nulo cambio energético. Al ser de origen natural el látex natural está fabricado a partir de reacciones enzimáticas que funcionan como catalizadores con una alta selectividad dando como resultado macromoléculas de alto peso molecular con una configuración Cis 1,4 que puede observarse en la figura 2 (Brasero Espada, 2017).

Figura 2

Molécula del poli isopreno



Nota. Representación del monómero del isopreno presente en los árboles de caucho de la Amazonía. Tomado de Espada, Brasero, 2017, Universidad Complutense.

Aproximadamente el 98 % del látex natural se obtienen a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es nativo del Amazonas, actualmente se puede cultivar en todas partes del mundo y cabe recalcar que más del 90 % de la producción del polímero se concentra en las zonas asiáticas. Gran parte de las aplicaciones del látex requiere de un proceso de vulcanización el cual produce un entrecruzamiento de las macromoléculas dando como resultados materiales fuertemente elásticos y que ningún elastómero sintético puede reemplazar. La función que tiene dentro del árbol se desconoce al 100 %, entre las teorías más aceptadas se encuentran que el poli isopreno sirve como

un mecanismo de defensa cuando la corteza del árbol sufre de algún daño significativo, también se mencionan la posibilidad que es una fuente de nutrientes de reserva o simplemente es un desecho de algún proceso previamente realizado por el organismo. El látex natural es básicamente una suspensión coloidal acuosa con partículas en forma de esfera que presentan radios de aproximadamente 1 micra, la forma en que la solución se mantiene estable se debe a que cada partícula está rodeada de un surfactante natural que posee una parte hidrofóbica y otra hidrofílica que retienen sobre la superficie de cada partícula de látex varias capas de agua solvatada que impide el choque y contacto directo de las moléculas y dotándolo de una carga negativa que ayuda también a mantener los monómeros separados en un movimiento browniano (Brasero Espada, 2017).

La composición del látex se detalla en tabla 5 y 6.

Tabla 5

Constituyentes del látex

Constituyente	% en peso
Agua	57 – 70
Hidrocarburo de caucho	27 – 40
Prótidos	1.5 - 1.8
Trazas de compuestos solubles en acetona	1.0 – 1.7
Azúcares	0.5 - 1.5
Minerales	0.2 - 0.9

Nota. Principales constituyentes del látex y sus posibles concentraciones dentro del mismo. Tomado de Sandoval Patricia, 2012, Universidad Industrial de Santander.

Tabla 6*Composición del látex*

Composición	% en peso
Total, de sólidos	1.5
Caucho seco	6
Bases nitrogenadas y aminoácidos	0.3
Lípidos	0.01
Proteínas	0.6
Fosfolípidos	0.6
Carbohidratos	0.5
Sales (k, Mg, P)	0.5
Agua	8.5

Nota. Componentes que se encuentran dentro de látex con su respectivo porcentaje dentro de este.

Tomado de Espada, Brasero, 2017, Universidad Complutense

Para evitar el proceso de coagulación espontáneo en el látex líquido se utilizan estabilizantes que mantenga la carga negativa de las moléculas, entre los más empleados tenemos los sulfuros de tiuram, amoniaco, y formaldehído. El tiempo en que demora en coagularse depende netamente de la temperatura del ambiente y entre las teorías por las que ocurre estos fenómenos tenemos que ocurre una baja en el pH por interacción de macroorganismo con moléculas ajenas al caucho o en consecuencia de la liberación de aniones ácidos que provienen de la hidrólisis de los pocos lípidos presentes en la solución.

Carbón activado (CA)

El CA pertenece a una familia de materiales absorbentes que poseen una gran porosidad y cristalinidad con un acomodo de sus átomos similar al grafeno, con la pequeña diferencia que el carbón activado no posee un arreglo en sus átomos, presenta enlaces covalentes e incluso puede contener hetero átomo como oxígeno, nitrógeno o azufre enlazados por fuerzas débiles de Van Der Waals, este material es hidrofóbico al inicio, pero va adoptando un carácter hidrofílico por la presencia de grupos oxigenados. Las principales fuentes de donde es obtenido se detallan en la tabla 7. El CA posee una elevada área de superficie, alta porosidad y un buen volumen que le permite poseer características físicas que le proporcionan una alta capacidad de adsorción de material orgánico, una gran retención y una óptima difusión interna de la molécula, por otro lado, las propiedades químicas le infieren de una fuerte afinidad hacia sus grupos funcionales expuestos en la superficie. El CA presenta una amplia gama de aplicaciones como tratar intoxicaciones, una superficie de bajo anclaje de materiales paramagnéticos, agente microbiano, manejo de desastres ambientales, en medicina y biomedicina (Enrique, 2021).

Tabla 7

Fuentes de C.A

Precursor	Área superficial	Tipo de porosidad
Hueso de aguacate	1830 m ² /g	Nanoporo
Bambú	720,69 m ² /g	Mesoporo
Residuos de hierba	756,30 m ² /g	Mesoporo
Concha de coco	680,34 m ² /g	Microporo

Nota. Se presenta los precursores de donde se puede obtener carbón activado, su área superficial y su tipo de poro.

Diseño factorial 2^k.

Son los diseños factoriales utilizados con mayor frecuencia en experimentos que poseen 2 variables independientes, los valores “k” son los valores con los que se pueden trabajar y pueden ser de carácter cualitativo o cuantitativo y pueden combinarse entre ellos cada combinación es nombrada condición experimental, los cambios en la respuesta del experimento ocasionados por cambios en los factores se los conocen como efecto. La principal ventaja de este diseño es analizar las interacciones entre los factores para evitar conclusiones erróneas, no es necesario realizar múltiples experimentos, su interpretación utiliza el razonamiento básico, aritmética elemental y gráficos generado por computadora (Fernández Bao, 2020).

Análisis de infrarrojo por transformada de Fourier.

El espectro será dividido en secciones para determinar los tipos de enlace que posee la molécula. Región de 4000-2500: En esta región se encuentran los enlaces O-H, N-H, la banda del enlace O-H en el agua es muy ancha y alta en el rango de 3500 a 3200 cm⁻¹, mientras que la banda del enlace de estiramiento C-H aparece en el rango de 3400 a 3200 cm⁻¹ y es menos amplia en comparación con la banda del enlace O-H del agua. Además, entre 3000 y 2800 cm⁻¹ se encuentran bandas relacionadas con el enlace de estiramiento C-H.

En la región de 2500 a 2000 cm⁻¹, a menudo no se observan bandas significativas, y si aparecen son muy débiles y no tienen un gran impacto en la interpretación del espectro, por lo tanto, se recomienda enfocarse en interpretar las otras bandas, si alguna banda aparece en esta región, puede ser debido a enlaces triples, como C≡C, C≡O o C≡N. En la región de 2000 a 1850 cm⁻¹, es común no encontrar señales de bandas en un espectro de infrarrojos.

La región de 1850 a 1500 cm^{-1} , también conocida como la región de los dobles enlaces, es donde principalmente aparecen las vibraciones de los enlaces C=C y C=O. La banda asociada con el enlace C=O es fuerte y puede aparecer entre 1830 y 1650 cm^{-1} dependiendo del compuesto, por ejemplo, el grupo carbonilo C=O se encuentra en esta región. En las proteínas, el grupo amida (C=O) se encuentra cerca de 1650 cm^{-1} . El enlace C=N también suele aparecer en esta región, pero a menudo la banda no es muy intensa.

La región de 1500 a 600 cm^{-1} , conocida como la región de huella dactilar, es donde aparecen bandas producidas por diversas vibraciones de enlace, siendo a menudo difícil asignar una banda específica a un enlace en particular, además, estas vibraciones de enlace causan una fuerte interacción entre los enlaces vecinos, pero es por esa complejidad que cada muestra tiene un espectro único.

Capítulo III

Metodología

El presente trabajo se ha realizado en los laboratorios de Petroquímica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE-L, Campus "General Guillermo Rodríguez Lara" y en los laboratorios de la facultad de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, y se centra en la elaboración de un prototipo de látex mejorado con gelatina obtenida a partir de los residuos del proceso de dividido de la curtiembre al cromo. Se realizaron tres rutas para la extracción del polímero de gelatina combinando los procesos ácido y alcalino para obtener una mayor cantidad del polímero. Las tres rutas se diferencian únicamente en el proceso de neutralizado, filtrado y la superficie de secado.

El copolímero de Látex gelatina se elaboró secando los componentes en una estufa a una temperatura constante, posteriormente se realizaron distintas pruebas físicas para determinar su resistencia a la tensión, tracción, microscopía óptica, análisis térmicos, IR, entre otros

Reactivos.

- HCl.
- NaOH.
- Poli isopreno.
- Carbón activado.

Materia prima

- Carnaza.

Materiales

- Vasos de precipitación.
- Varillas de agitación.
- Embudos de cristal.

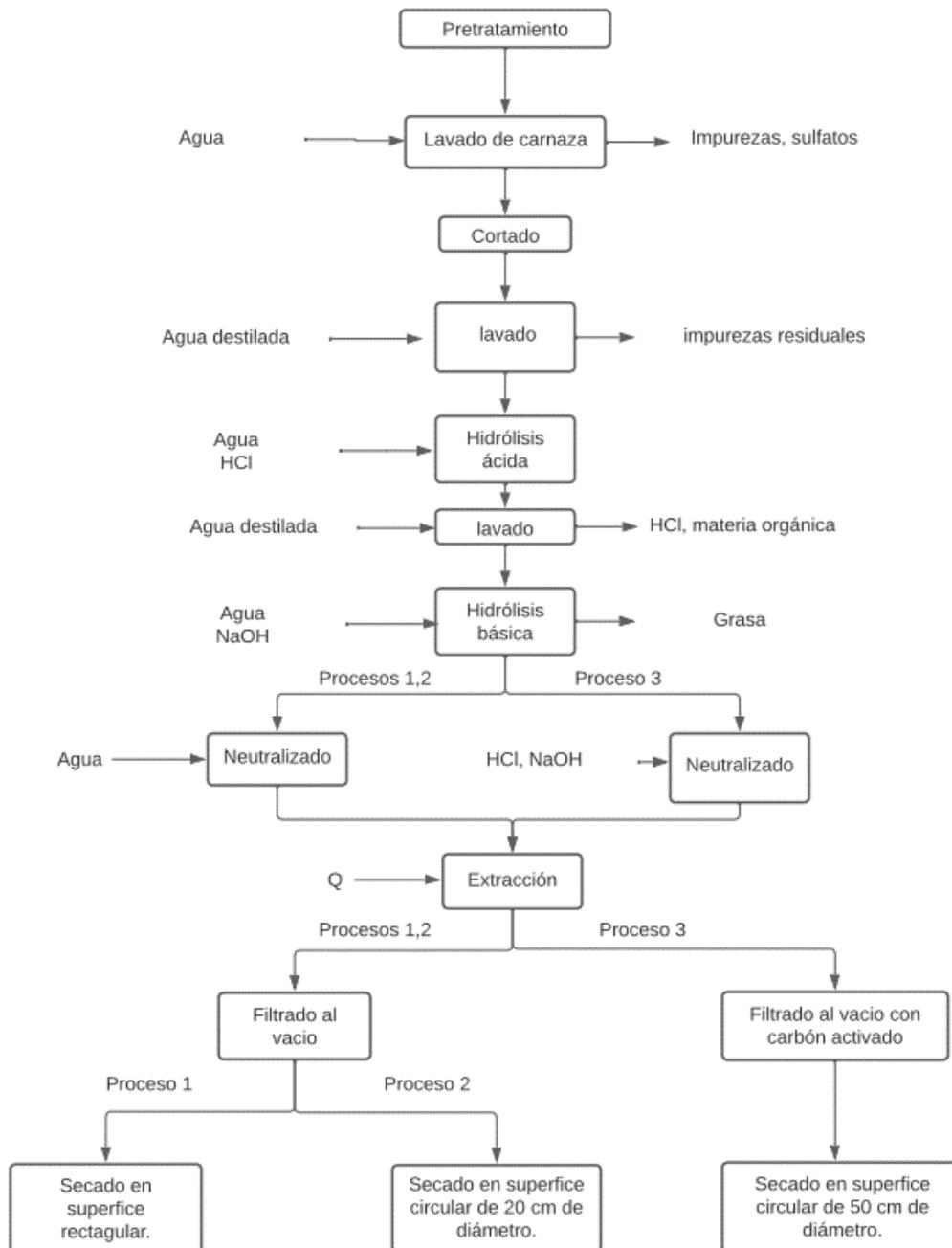
- Papel filtro.
- Contenedores de aluminio.
- Vidrio reloj.
- Barrillas de agitación magnética.
- Embudo buchner.
- Bomba de vacío.

Equipos

- Estufa de secado marca ESCO modelo ISOTHERM OFA.
- Plancha de secado.
- Molino de café eléctrico.
- Microscopio óptico EVOS.
- Espectrofotómetro FTIR.
- Texturometro modelo Brookfield modelo CT3 10K.

Figura 3

Resumen de los procesos de extracción



Nota. Diagrama de bloques de los procesos combinados de extracción de la gelatina a partir de la carnaza

Pretratamiento de la muestra.

En la provincia de Tungurahua dentro del parque industrial se encuentra la curtiembre Tungurahua S.A., la figura 4 muestra la recolección de un aproximado de 5 kg de carnaza para su posterior tratamiento.

Figura 4

Obtención de la carnaza



Nota. Trabajador de la curtiembre Tungurahua montando una nueva piscina para recolectar la carnaza.

La muestra es cuidadosamente seleccionada evitando las secciones que presenta defectos como un estado de putrefacción, quemaduras causadas al marcar el ganado entre otros. Posteriormente fue lavada varias veces con agua tibia para eliminar cualquier residuo químico como sulfatos que pueden estar presente sobre la superficie de la carnaza para luego almacenarla en congeladores evitando así la proliferación de bacterias como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Almacenamiento de carnaza



Nota. Muestra de carnaza lavado con agua para eliminar los sulfatos utilizados para la eliminación de pelambre dado en un proceso anterior de la curtiembre.

Tratamiento de la carnaza.

La muestra previamente lavada debe ser cortada en pequeños cuadrados de 1 cm de lado como lo muestra la figura 6, esto permitirá que se aumente la superficie de reacción, una mayor facilidad en la penetración del hidróxido de sodio y se podrá obtener un mejor rendimiento de la proteína, posteriormente los cuadrados de carnaza serán lavados nuevamente con agua destilada con el fin de eliminar cualquier sal o compuesto ajeno en la superficie.

Figura 6

Tratamiento de la carnaza



a)



b)



c)

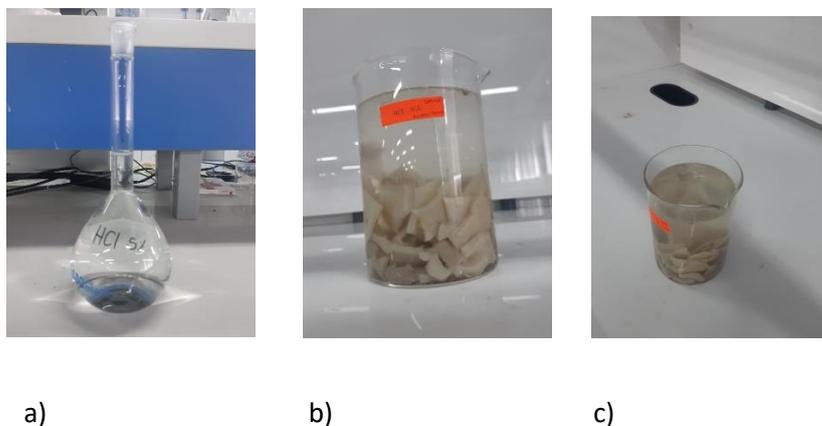
Nota. La figura “a” muestra la carnaza después de ser debidamente lavada y lista para ser tratada. La figura “b” se muestra la carnaza siendo cortada en pequeños cuadros. La figura “c” es la carnaza lista para ser sumergida en agua destilada.

Proceso ácido.

La carnaza picada es colocada en un vaso de precipitado de 500 ml donde fue sumergidas en una solución de HCl al 5% volumen/volumen con el objetivo de destruir la estructura interna del polímero liberando cadenas asiladas de gelatina α y β (Pérez et al., 2016). El tiempo de reposo puede variar según la bibliografía, pero el más común para materias con una estructura de colágeno como la carnaza es de al menos 5 días, como lo menciona (Barquero, 1997).

Figura 7

Tratamiento ácido



Nota. La figura “a” es una solución de HCl. La figura “b” es la carnaza cortada sumergida en una solución de HCl. La figura “c” muestra la carnaza almacenada en una Sorbona.

pH de la solución.

La solución fue medida por 2 métodos, el uno basado en tiras de color y el otro con un pH metro electrónico siendo los resultados 0.47 de pH en el dispositivo electrónico y en la banda dentro de intervalo de 0 a 1 de pH como se puede observar en la figura 8.

Concentración molar del ácido clorhídrico.

$$m = 5\% \frac{V}{V}$$

$$m = \frac{5 \text{ ml HCl} * \frac{1,834 \text{ g HCl}}{1 \text{ m HCL}}}{500 \text{ ml} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}}}$$

$$m = 18.34 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ mol HCl}}{36.458 \text{ g}}$$

$$m = 0.503044 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Calculo para obtener la cantidad de ácido clorhídrico al 5% V/V.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

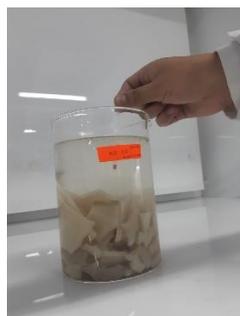
$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = 5\% * \frac{500 \text{ ml}}{37\%}$$

$$V_1 = 67.56756757 \text{ ml HCl}$$

Figura 8

Medida de pH



a)

b)

c)

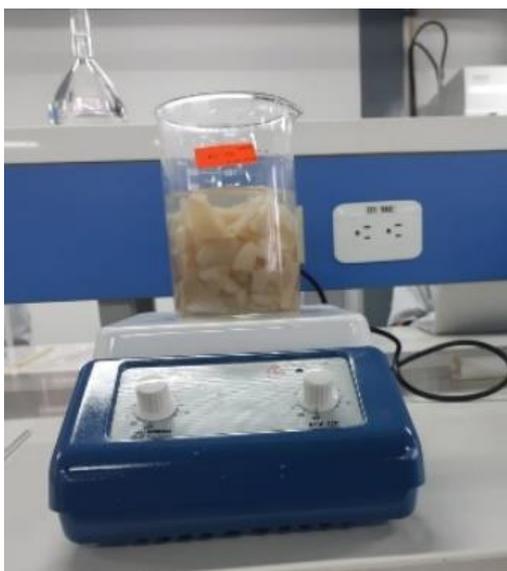
Nota. La figura “a” se muestran las tiras para medir el pH. La figura “b” muestran la medida del pH de la solución con carnaza utilizando la tira. La figura “c” muestra la medida del pH de la muestra usando el pH metro.

Tratamiento alcalino.

Finalizado los 5 días se procede a lavar la muestra durante 2 horas en agua destilada para neutralizar los restos de ácido clorhídrico que pudieron haberse quedado en la carnaza. Se debe repetir este proceso 2 veces más para garantizar una limpieza total de la muestra como lo muestra la figura 9. Posteriormente se debe preparar 500 ml de una solución al 5 % P/V de NaOH. Para un correcto hidrolizado se debe someter la carnaza durante varias semanas a dicha solución hasta que presente condiciones de extracción, de esta forma se puede desnaturalizar el colágeno de manera gradual.

Figura 9

Lavado de carnaza



Nota. Carnaza siendo lavada en una plancha con un agitador magnético para mantener la carnaza en un movimiento constante.

Cálculo de la concentración de NaOH

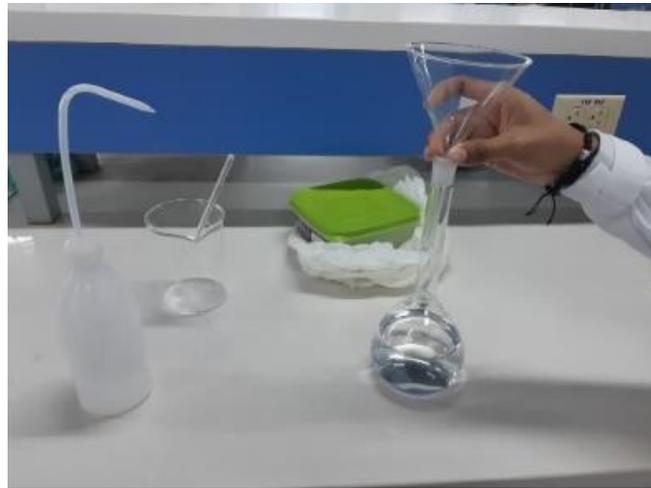
La solución básica se muestra en la figura 10.

$$m = 5 \% NaOH = \frac{5 \text{ g NaOH}}{100 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ mol NaOH}}{39.997 \text{ g NaOH}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}}$$

$$m = 1.22501 \text{ mol/L}$$

Figura 10

Preparación de una solución de sosa caustica



Nota. Preparación de una solución en baja concentración de NaOH para el proceso de hidrolizado de la carnaza.

pH de la solución.

Se midió el pH de la solución con un pH metro como lo muestra la figura 11 dando como lectura 11.27.

Figura 11*Solución alcalina*

Nota. Toma del pH de la solución NaOH con un pH metro

Tiempo de hidrolizado.

Las tres rutas del proceso mantienen diferentes tiempos de reposo mientras se efectúa el hidrolizado, por lo cual es necesario dejarlas por un tiempo no mayor a los 2 meses porque a partir de este momento la solución puede llegar descomponerse y esto afectará directamente a la calidad del proceso, además que los trozos de carnaza comenzarán a deshidratarse en exceso lo que afectaría el proceso de extracción de la gelatina haciendo que su tiempo sea mucho mayor como lo muestra la figura 8.

Tabla 8*Tiempo de hidrolizado*

Número de Proceso	Tiempo de hidrolizado
1	15 días (288 horas aproximadamente)
Número de Proceso	Tiempo de hidrolizado

2	30 días (720 horas aproximadamente)
3	45 días (1080 hora aproximadamente)

Nota. El proceso de hidrolizado puede variar desde unas pocas semanas hasta aproximadamente 2 meses y finaliza cuando la solución presente condiciones de extracción.

Neutralización.

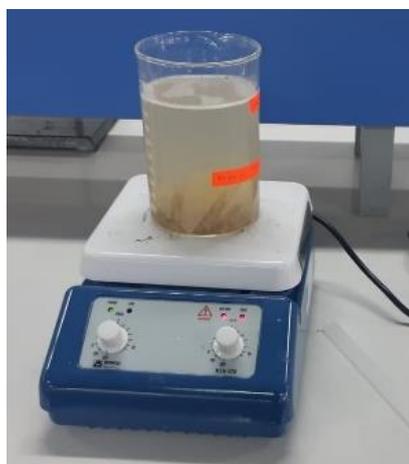
Hasta el paso denominado “Tiempo de hidrolizado” los tres procesos fueron similares, a partir de este punto cada ruta se realizará de una manera distinta.

Neutralización utilizando H₂O.

El proceso se realiza únicamente usando agua destilada en donde primero se procede a escurrir la solución de NaOH para luego sumergir la carnaza en 500 ml de agua destilada. La muestra se coloca sobre una plancha con agitador magnético a una temperatura no mayor de 40 °C durante 3 horas como lo muestra la figura 12. Es utilizado en las rutas 1 y 2.

Figura 12

Proceso de extracción de gelatina



Nota. Se observa el proceso de extracción de la gelatina utilizando únicamente agua a una temperatura determinada, la agitación constante permite mejorar solubilidad de la gelatina.

Neutralización con control de pH

El segundo proceso se centra en mantener un pH entre 7 y 8 ya que según la bibliografía estas son las condiciones que presenta una gelatina tipo a, las soluciones que se utilizaron para encontrar el punto de equilibrio fueron NaOH y HCl en pequeñas concentraciones con la ayuda de un pH metro. Este proceso es mucho más rápido que el anterior y presenta un mayor rendimiento, es utilizado únicamente en la ruta de obtención 3.

Extracción de la gelatina.

Proceso de extracción

La carnaza total es dividida en 15 muestras de 30 gramos aproximadamente en matraces Erlenmeyer de 250 ml con 150 ml de agua destilada y un agitador magnético, los matraces son numerados alfabéticamente y puestos sobre una plancha de secado hasta que presente condiciones de extracción. El tiempo de extracción puede variar de manera significativa dependiendo del tiempo de hidrolizado como lo muestra la tabla 9.

Tabla 9

Resumen del tiempo de extracción

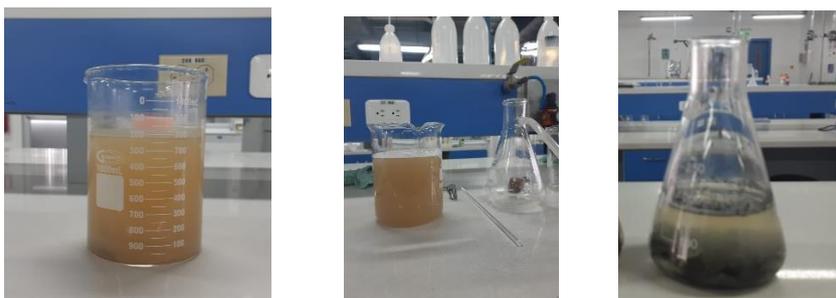
Proceso	Rango de temperatura	Tiempo de extracción.
1	60 °C - 65 °C	1 hora
2	70 °C - 75 °C	2 horas
3	65 °C - 70 °C	10 horas

Nota. En la presente tabla se muestran como la duración del hidrolizado afecta el tiempo de extracción de una manera significativa.

Una vez transcurrido el tiempo se podrá notar que en los 2 primeros procesos la carnaza se disuelve por completo en el matraz, mientras que en el 3 proceso la carnaza no desaparece por completo y el tiempo requerido para su total solubilización es demasiado alto, la carnaza sobrante es recolectada en recipientes de aluminio y enviado a la secadora por algunas horas dando como resultado una estructura formada a base de colágeno que será triturado en un molino de café eléctrico. Otra diferencia significativa del procedimiento número 3 es que se le agrega 1 gramo de carbón activado por muestra para eliminar los compuestos orgánicos que pueden afectar la calidad final del producto como lo muestra la figura 13.

Figura 13

Licor de extracción



a)

b)

c)

Nota. En “a” es el licor obtenido del proceso 1. La figura “b” es el licor obtenido del proceso 2. “c” es el licor resultante del proceso 3.

Proceso de filtrado.

El proceso de filtrado al vacío sirve para eliminar los desechos orgánicos como grasas de la solución, es realizado utilizando un Kitasato de 500 ml conectado a una bomba de vacío y un embudo buchner, es importante realizar el proceso de filtrado de una forma inmediata tras haber terminado la extracción de la gelatina para evitar la gelificación del licor. La filtración debe ser

realizado algunas veces para las rutas 1 y 2 mientras que para la tercera es importante hacerlo algunas veces para eliminar todo el carbono activado que presenta la solución.

Figura 14

Proceso de filtrado



a)

b)

c)

Nota. En “a” se observa el equipo de destilación montado, en “b” se muestra el proceso de filtrado de la ruta 3. En “c” se puede ver la diferencia entre los licores del proceso 2 (amarillo) y el 3 (negro)

Proceso de secado

Se utilizó una estufa de secado marca ESCO modelo ISOTHERM OFA que fue programada a distintas temperaturas para secar el licor y obtener la gelatina seca, la estufa tuvo 3 tipos de variaciones dependiendo de la ruta realizada como lo muestra la tabla 10. En el proceso uno se secó el licor en un contenedor de aluminio rectangular de 15 cm de largo y 10 cm de ancho, el proceso dos en un recipiente de aluminio circular de 20 cm de diámetro y el tercer proceso en uno con un diámetro de 50 cm de diámetro.

Tabla 10

Condiciones de secado

Proceso	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
1	65 – 70	20 – 24
2	70 – 75	15 – 17

Proceso	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
3	60 – 65	10 - 12

Nota. Los 3 procesos se realizaron a diferentes rangos de temperatura y tiempo para comprobar cual presenta mejores resultados en la extracción.

Las imágenes de los productos obtenidos en los distintos procesos se pueden ver en la figura 15.

Figura 15

Resultado del proceso de secado



a)



b)



c)

Nota. “a” muestra el resultado de la primera ruta donde se obtuvo una resina pegajosa y cuyo volumen no puede seguir siendo reducido, “b” es el resultado del proceso 2 que da como resultado un sólido amarillento que debe ser pulverizado con un mortero. “b” da como resultado una película fina y translúcida de gelatina.

Diseño experimental

Se seleccionó el diseño factorial completo 2^k el cual posee un número k de factores y se puede adoptar 2 niveles y realizando cada prueba por triplicado.

Diseño factorial

Se realizó 2 diseños experimentales para las rutas 2 y 3 de extracción donde se comparará el rendimiento de los procesos para seleccionar el más adecuado donde los factores pueden verse en la tabla 11 para cada proceso.

Tabla 11

Factores de las variables dependientes del proceso 2 y 3

a)

Tiempo de secado (horas)	Temperatura de secado (°C)
15	70
17	75

b)

Tiempo de secado (horas)	Temperatura de secado (°C)
10	60
12	65

Nota. “a” muestra las variables del proceso 2 y “b” las variables del proceso 3.

La tabla 12 muestra el diseño factorial de 2 niveles y dos factores que fueron utilizados en los procesos 2 y 3 con sus respectivas condiciones de temperatura y tiempo.

Tabla 12*Matriz experimental del proceso 2 y 3*

a)

Experimento	Repetición	Ensayo	T(°C)	t (h)
1	A	1	60	12
2	B	8	65	10
3	C	10	60	10
4	A	2	60	10
5	B	6	65	12
6	C	9	65	10
7	A	3	65	12
8	B	4	60	12
9	C	12	65	10
10	A	5	60	12
11	B	7	65	12
12	C	11	60	10

Tabla 13*Matriz experimental del proceso 2 y 3*

b)

Experimento	Repetición	Ensayo	T(°C)	t(h)
9	A	1	70	17
1	B	2	70	15
6	C	3	75	15
11	A	4	75	17
5	B	5	75	15
2	C	6	70	15
7	A	7	70	17
3	B	8	70	15
4	C	9	75	15
10	A	10	75	17
12	B	11	75	17
8	C	12	70	17

Nota. Matriz donde se puede observar las condiciones de extracción de cada corrida. “a” del proceso 3 y “b” del proceso 2.

Una vez obtenida la matriz experimental que pueden observarse en la tabla 13 se procederá a examinar los resultados obtenidos en el programa Design Expert donde a través del análisis de varianza ANOVA se obtendrá el coeficiente de determinación del experimento junto con su respectivo rendimiento promedio.

Tabla 14*Matriz experimental del proceso 2 y 3 con su rendimiento*

a)

Experimento	Repetición	Ensayo	T(°C)	t(h)	Rendimiento
9	A	1	70	17	2,1023
1	B	2	70	15	1,9226
6	C	3	75	15	1,7825
11	A	4	75	17	1,7254
5	B	5	75	15	1,6876
2	C	6	70	15	1,9715
7	A	7	70	17	2,002
3	B	8	70	15	1,8759
4	C	9	75	15	1,7263
10	A	10	75	17	1,7329
12	B	11	75	17	1,6821
8	C	12	70	17	2,15766

Tabla 15*Matriz experimental del proceso 2 y 3 con su rendimiento*

b)

Experimento	Repetición	Ensayo	T(°C)	t(h)	Rendimiento
1	A	1	60	12	5,6436
2	B	8	65	10	3,5406
3	C	10	60	10	3,8754
4	A	2	60	10	3,9554
5	B	6	65	12	4,0084
6	C	9	65	10	3,6736
7	A	3	65	12	3,8109
8	B	4	60	12	5,4027
9	C	12	65	10	3,4042
10	A	5	60	12	5,619
11	B	7	65	12	4,1237
12	C	11	60	10	3,8767

Nota. Rendimiento obtenido en cada corrida de “a” del proceso 2 y “b” del proceso 3.

Diseño del prototipo

Solución de látex-gelatina.

Se prepara una solución con una relación 1:1; 1:2 y 1:3 de látex y gelatina a temperatura ambiente, se debe agitar lentamente y de una manera constante para evitar la formación de grupos en la mezcla.

Secado del copolímero.

Se debe verter el contenido en un recipiente de aluminio y meterlo en una estufa de secado a una temperatura moderada durante algunas horas, esto permitirá que los monómeros del látex y la gelatina se polimericen y den como resultado un nuevo copolímero que presentará propiedades elásticas y térmicas superior al látex normal.

Formación del prototipo.

Para la formación de las películas de látex-gelatina se colocó un poco de la solución en recipientes pequeños y mandadas a secar a temperaturas moderadas inferiores a los 60 °C, una vez transcurrido 5 horas estas son retiradas de la estufa y las películas son guardadas con cuidado.

Residuo.

El proceso de extracción dejó como residuo pedazos de carnaza que no pudieron ser disueltos completamente por lo que fueron secadas a una temperatura inferior a los 60 °C para luego ser tratado con la ayuda de un molino de café eléctrico, el polvo de carnaza es colágeno casi en su totalidad el cual puede ser usado como un agente desecante gracias a que absorber alrededor de 12 veces su peso en agua.

Capítulo IV

Análisis de resultados

Proceso de extracción

El proceso de extracción de la gelatina a partir de carnaza bovina se realizó mediante una hidrólisis ácida seguida de una alcalina por lo que su rendimiento se obtendrá mediante el análisis factorial detallado en el capítulo 2 y cuya tabla de corridas se encuentra en el capítulo 3. El tiempo y temperatura de secado varía entre los procesos donde el rendimiento se obtuvo del software Design Expert y se procedió a seleccionar el proceso más idóneo para continuar con su análisis tanto en ese software como en Minitab. El proceso uno fue descartado de inmediato debido a que dio paso a la formación de una resina que no pudo ser reducida de una manera eficiente por lo que su rendimiento se considera indeterminado.

Tabla 16

Tabla de análisis de varianza de proceso 2 y 3

a)

Desviación estándar	Promedio	C.V.	R ²	R ² Ajustada	R ² Predicción	Adeq Precisión
0,0537	1,86	2,88	0,9239	0,8954	0,8288	12,0556

b)

Desviación estándar	Promedio	C.V.	R ²	R ² Ajustada	R ² Predicción	Adeq Precisión
0,1253	4,24	2,95	0,9829	0,9764	0,9614	27,854

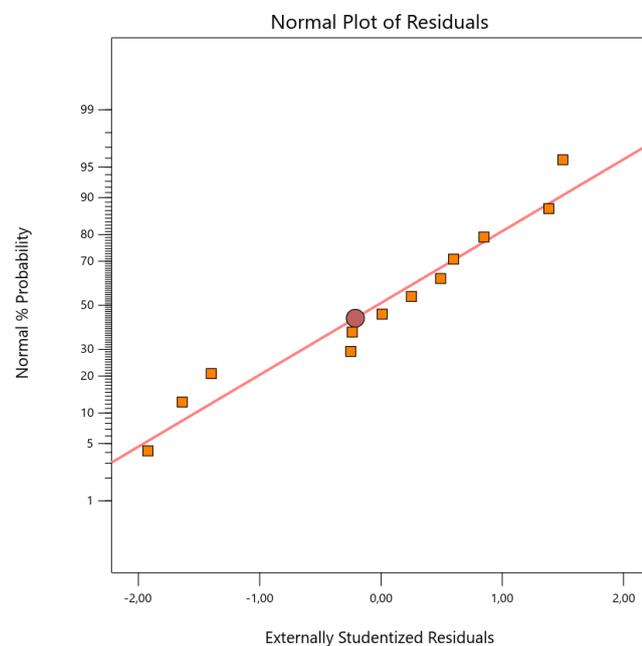
Nota. En la presente tabla presenta el coeficiente de determinación y el rendimiento promedio en gramos del proceso 2 (a) y 3 (b).

La tabla 14 muestra un R2 de 0.9829 para el proceso 3, mientras que del proceso 2 fue de 0.9239. El R2 de predicción para el proceso 3 es de 0.9614 y se encuentra ajustado de una manera razonable al R2 de ajuste de 0.9764 con una diferencia inferior a 0.2. Su relación señal/ruido (Adequación de precisión) es de 27.854 superior al mínimo de 4 por lo que es un modelo válido en donde se puede navegar. Como el proceso 3 muestra un rendimiento superior y un coeficiente de determinación más cercano al valor de 1 la ruta 3 se convierte en el proceso más idóneo de los presentados anteriormente.

Análisis del diseño experimental del proceso 3

Figura 16

Gráfica de residuos normal

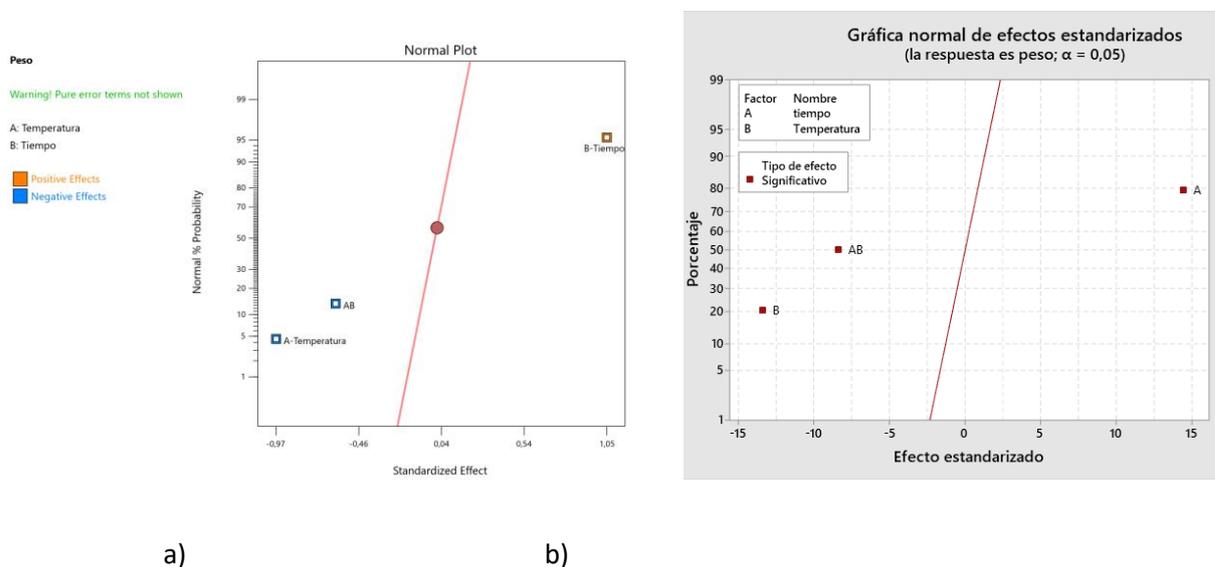


Nota. la gráfica de residuos normales fue elaborada mediante el software Design Expert.

En la figura 16 se puede observar cómo los residuos se agrupan normalmente cerca de la línea central teniendo muy pocos puntos alejados, no existe un patrón o tendencia clara y sus residuos se ven homocedásticos destacando que los puntos presentes en la gráfica no muestran un patrón fijo como una recta, parábola o embudo significa que el modelo cumple con los supuestos de normalidad además los residuos se distribuyen normalmente por lo que existe una relación lineal entre las variables predictoras y las de respuesta, por lo cual el modelo utilizado es aceptable.

Figura 17

Gráfica de efecto normalizado



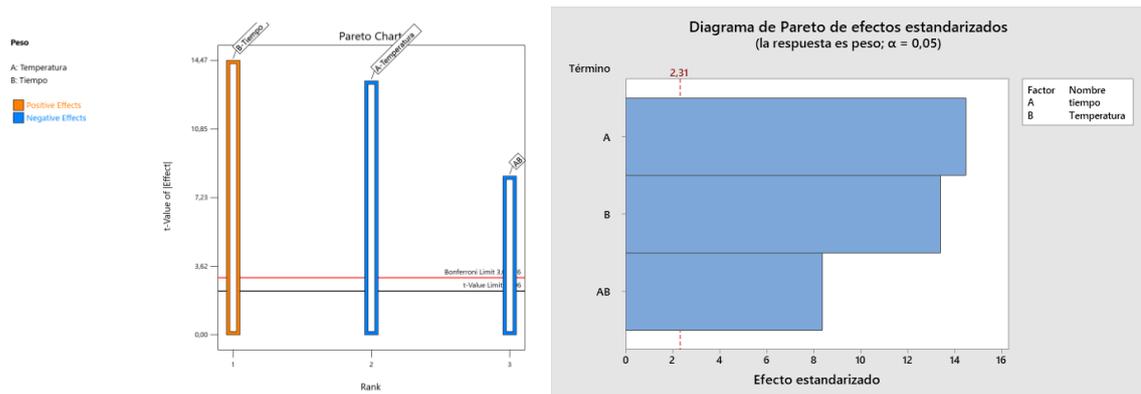
Nota. La gráfica de residuos normales fue elaborada mediante el software Design Expert (a) y Minitab (b).

Las imágenes de la figura 17 fueron obtenidas de distintos softwares y muestran la gráfica normal de los efectos estandarizados que ocurren dentro del modelo, estas gráficas permiten comparar las variables predictoras de temperatura, tiempo y como la interacción entre ambas afecta el modelo. Se puede observar cómo los puntos se encuentran distribuidos de una manera no aleatoria y no forman ningún patrón que pueda dar indicios de que el modelo no es adecuado, la variable de tiempo es el punto más alejado de la recta (x,y) y se ubica en el cuadrante derecho de esta por lo que su efecto dentro del proceso de extracción de la gelatina será de una manera positiva, cabe

destacar que la temperatura también juega un papel importante, pues es la segunda variable más significativa, y afecta junto con la interacción Tiempo/Temperatura de una forma negativa.

Figura 18

Análisis de Pareto

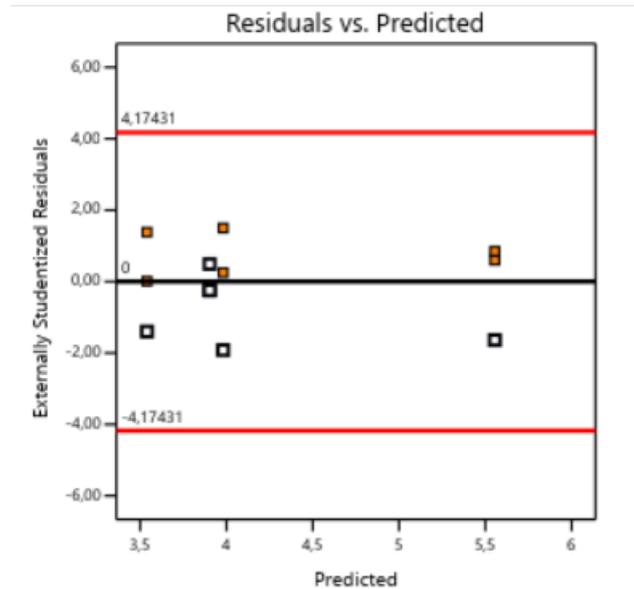


Nota. La gráfica de Pareto fue elaborada mediante el software Design Expert (a) y Minitab (b).

El diagrama de Pareto de la figura 18 muestra que el tiempo, temperatura y la interacción de estos 2 fenómenos son efectos significativos dentro del modelo, también se puede destacar que el tiempo produce un efecto positivo mientras que la temperatura y su interacción brindan efectos negativos al sistema.

Figura 19

Gráfica residuo vs predicción



Nota. Se puede observar cómo los residuos se encuentran dispersos en la gráfica.

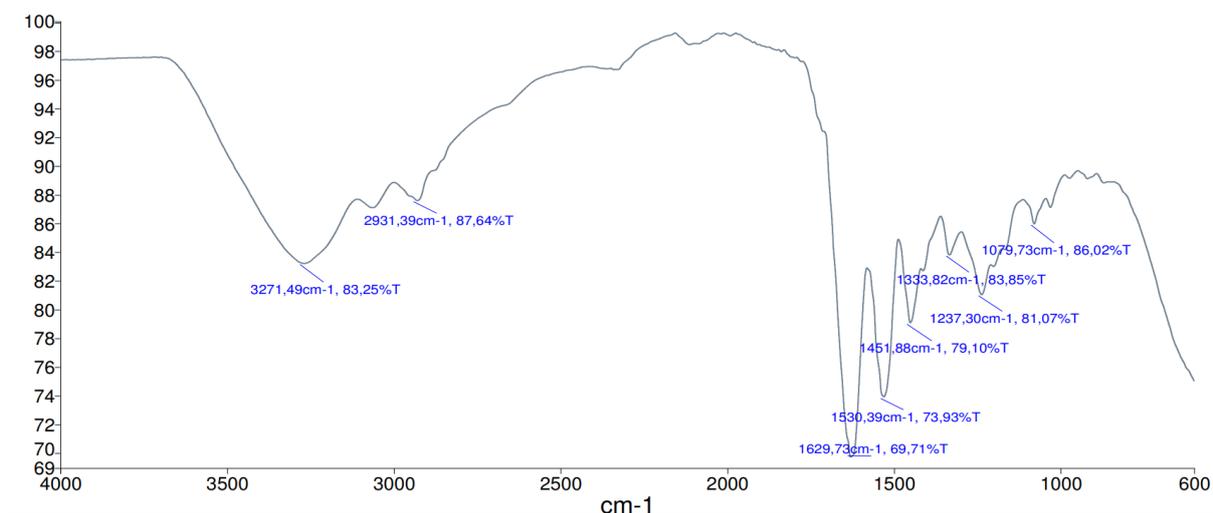
La figura 19 sirve para comparar los residuos o la diferencia entre los valores pronosticados y los observados frente a los valores verdaderos, como los puntos se distribuyen de manera aleatoria alrededor de la línea de igualdad cuya media es cero, una desviación estándar no tan grande y se puede concluir que el modelo se ajusta de una manera satisfactoria.

Espectros IR

Gelatina.

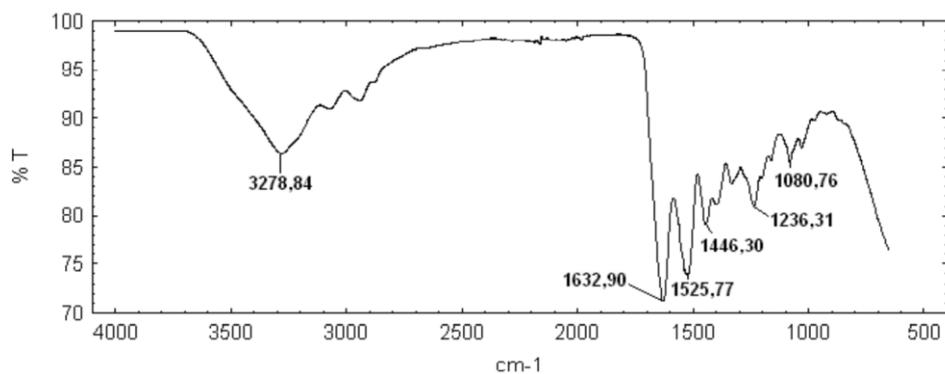
Figura 20

Espectro infrarrojo de la gelatina en el laboratorio



Nota. Espectro IR de la gelatina obtenida de la carnaza bovina donde se presentan los picos representativos.

En la figura 20 se puede observar el espectro representativo de la gelatina que se obtuvo por hidrolizado de la carnaza en el laboratorio de petroquímica y que puede ser comparado con el espectro de la figura 21. Ambas gráficas tienen una estructura similar que posee todos sus picos representados dentro de los mismos rangos, donde la zona de la huella dactilar posee una gran semejanza entre ambas figuras. Los picos entre los 1500 y 1000 son puntos característicos presentes en las proteínas y los carbohidratos por otro lado, los picos de 3200 hasta los 3500 pueden representar el agua y grupos aminos que posee la gelatina.

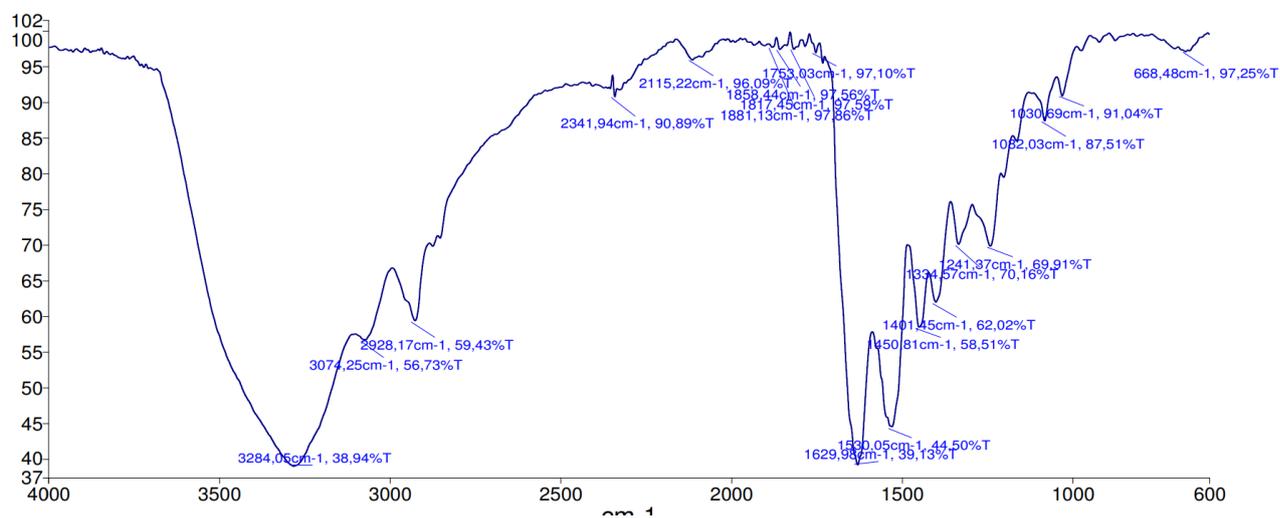
Figura 21*Espectro infrarrojo de la gelatina*

Nota. Espectro infrarrojo de la gelatina con sus respectivos picos. Tomado de Prestes Rosa, 2013, Revista Brasileña de Productos Agroindustriales

Tabla 17*Principales picos IR de la gelatina*

Grupo	Clase de compuesto	Experimental	Intervalo
N-H	Amido	3271,49	3300 – 3500
C-H	Alcano	2931,39	3000 – 2840
C=O	Amina I	1629,73	1635
N-H y C-N	Amida II	1530,39	1500 - 1600
C-H	Alcano	1451,88	1455
-OH	Alcohol	1333,82	1420- 1330
C-O	Alcohol primario	1079,73	1124 - 1087

Nota. se detalla los puntos significativos de absorción IR junto con su respectivo rango para identificar los grupos y enlaces que puede tener el compuesto.

Película de gelatina.**Figura 22***Película de gelatina*

Nota. Se puede observar una gran semejanza con la gelatina en polvo difiriendo levemente en la absorción del pico.

Tabla 18

Principales picos IR de la película de gelatina

Grupo	Clase de compuesto	Experimental	Intervalo
N-H	Amido	3284.06,49	3300 – 3500
C-H	Alcano	3074.25	3100- 3000
C-H	Alcano	2928,17	3000 – 2840
C=O	Amino	1629,98	1635
N-H y C-N	Amido II	1530,05	1500 - 1600
C-H	Alcano	1450,81	1455

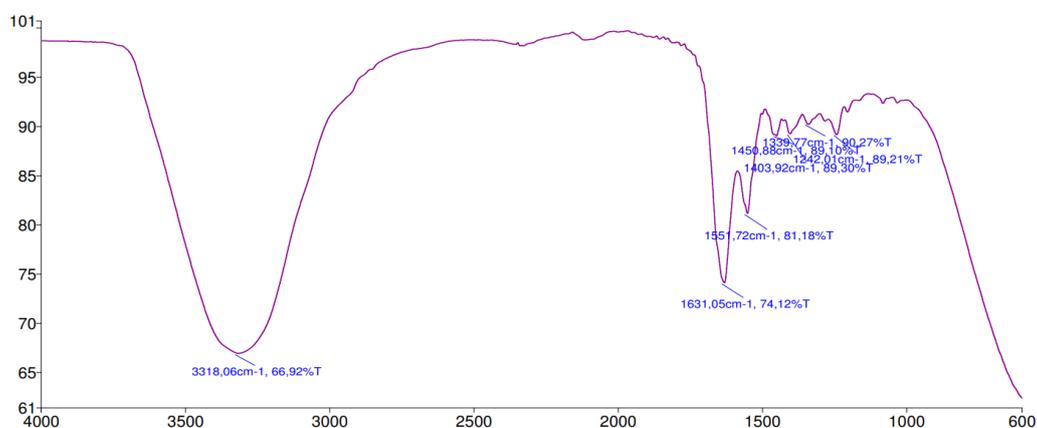
Tabla 19*Principales picos IR de la película de gelatina*

O-H	Ácido carboxílico	1401,45	1440- 1395
O-H	Alcohol	1334,57	1420- 1330
C-O	Alquil aril éter	1241,37	1275- 1200
C-O	Alcohol primario	1082,03	1124 - 1087
C-O	alcohol secundario	1030,69	1124- 1087

Nota. Se detalla los puntos significativos de absorción IR de la película de gelatina junto con su respectivo rango para idéntica los grupos y enlaces que puede tener el compuesto.

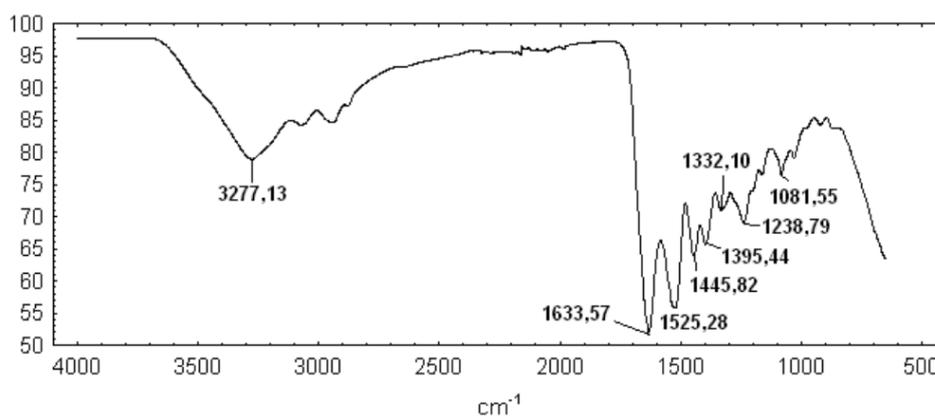
Los picos que se encuentran en el rango de 2300 y 1700 pueden ser descartados porque no son relevantes, pero se deben tener en cuenta que pueden ser producidos por ruido en el sistema o por dobles y triples enlaces presentes en el compuesto, también es muy importante mencionar que la huella digital del espectro se encuentra entre los 1500 y 600 por lo que los picos por debajo de ese rango pueden ser considerado ruido, impurezas o un mal background del equipo.

Residuo del proceso de extracción de gelatina.

Figura 23*IR del residuo de extracción*

Nota. Espectro IR del residuo de extracción de la gelatina donde se muestran los picos representativos.

El espectro de la figura 23 presenta una estructura similar a la figura 24 la cual representa un espectro de colágeno hidrolizado, se destaca que la figura 23 posee algunos picos un poco distintos pero se encuentran dentro los parámetros establecidos por lo que se puede asumir que se trata de una estructura sólida de colágeno, este tiene sentido puesto que la carnaza fue sometida a tratamientos químicos que eliminaron las grasas y residuos del cuerpo de colágeno dejando una superficie casi intacta.

Figura 24*Espectro de colágeno*

Nota. Espectro IR del residuo de extracción de la gelatina perteneciente a la literatura donde se muestran los picos representativos.

Tabla 20

Principales picos IR del residuo de extracción

Grupo	Clase de compuesto	Pico experimental	Intervalo
N-H	Amido	3318,06	3300 – 3500
C=O	Amino	1631,05	1635
N-H y C-N	Amido II	1530,05	1500 - 1600
C-H	Alcano	1450,88	1455
O-H	Alcohol	1339,77	1420- 1330
C-O	Alquil aril éter	1248.01	1124 - 1087
C-O	alcohol secundario	1081.55	1124- 1087

Nota. Se detalla los puntos significativos de absorción IR del residuo de extracción junto con su respectivo rango para idéntica los grupos y enlaces que puede tener el compuesto.

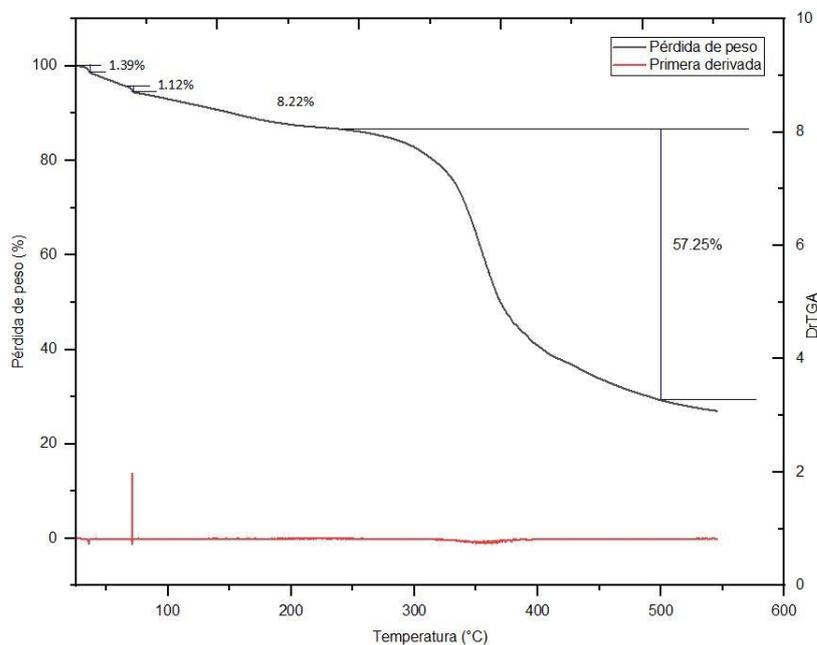
Análisis TGA

Gelatina

En el análisis termogravimétrico (TGA) de la gelatina se utilizaron los siguientes parámetros experimentales. Se inició con una temperatura de 50 °C la cual se mantuvo por 2 minutos, posteriormente, se fue incrementando a una tasa de 15 °C por minuto hasta llegar a los 80 °C conservando la isoterma durante 1 minuto para luego continuar aumentándola a la misma velocidad hasta los 350 °C donde se mantiene por un minuto adicional para finalmente alcanzar una temperatura de 600 °C.

Figura 25

Gráfica de TGA de la gelatina



Nota. Imagen de la gráfica de las pérdidas de masa en función de la temperatura para la gelatina junto a la primera derivada que muestra donde se encuentran las temperaturas donde más se degrada la materia.

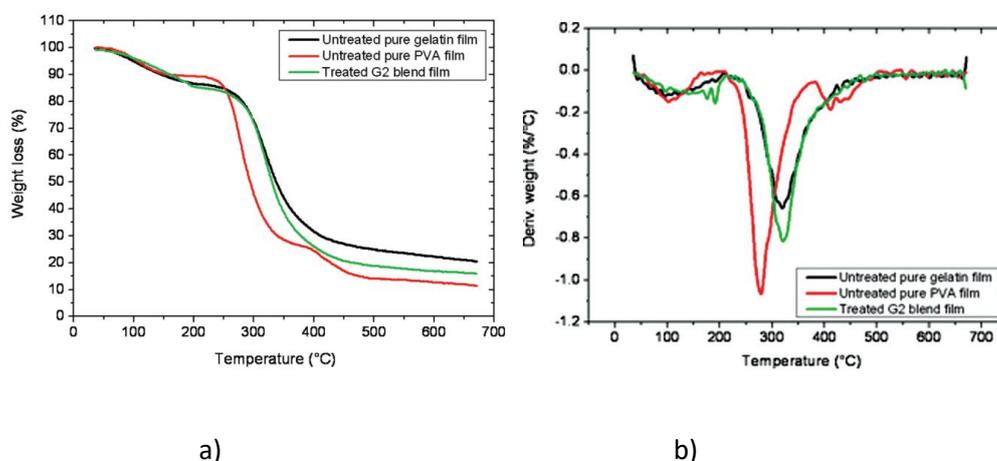
La figura 25 muestra que la gelatina obtenida de la carnaza presenta 3 puntos de pérdida de masa, la primera zona se trata de la pérdida del agua residual (1.39 %) que podía retener la muestra de gelatina, ya que el polisacárido puede interactuar con el agua del ambiente y formar una estructura que retiene el agua. Ignorando esta primera pérdida del agua que ocurre a los 35.887 °C la gráfica de la gelatina se parece a la de la figura 26 obtenida de la literatura.

La segunda zona ocurre a los 71.097 °C donde se pierde 1.12 % de la masa total que es el resto de agua presente en la estructura interna de la molécula, el tercer punto de pérdida sucede cerca de los 188.821 °C hasta los 544.206 °C y es la zona en donde se más se degrada la gelatina perdiendo hasta un 57.25 % de su masa, cabe destacar que entre la segunda y tercera pérdida se elimina un 8.22 % de muestra, según la primera derivada la temperatura en donde ocurre la mayor

degradación es 352.979 °C. Estas temperaturas difieren un poco de la bibliografía, pero es complicado obtener una temperatura estándar, puesto que la resistencia térmica de la gelatina difiere un poco con base a su composición como su pH.

Figura 26

Primera derivada de un TGA de gelatina



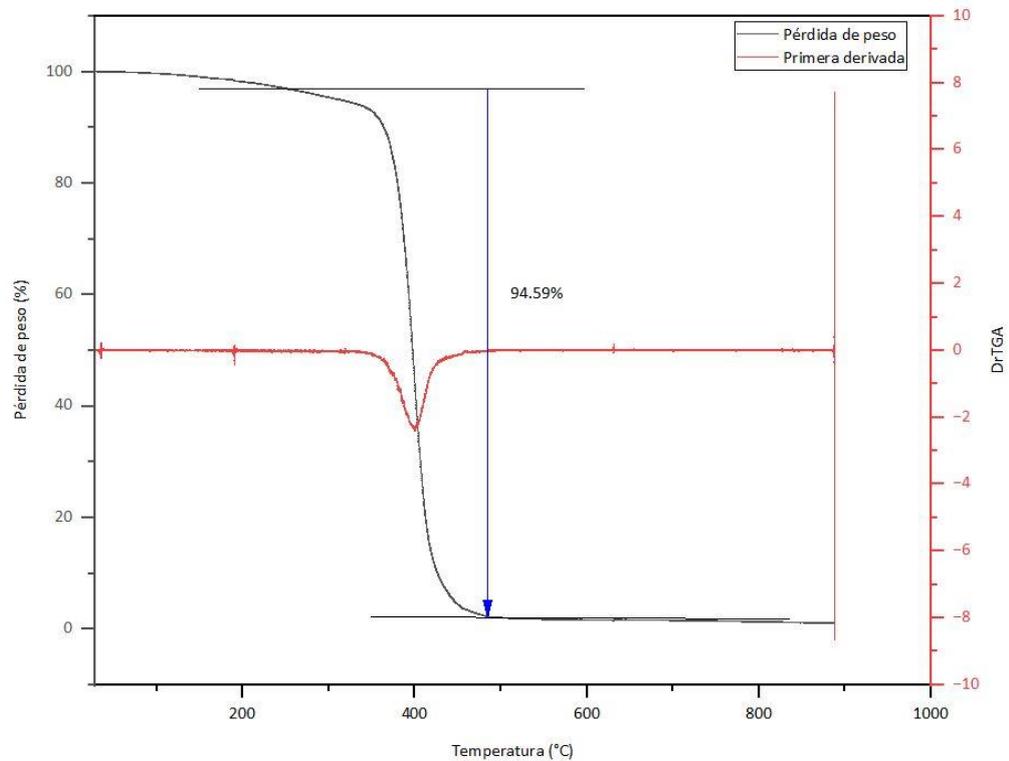
Nota. “a” muestra el diagrama TGA de la gelatina pura (línea negra) mientras que “b” muestra la primera derivada del sistema cuyos picos se interpreten como las temperaturas donde ocurre la máxima pérdida de la proteína. Tomado de Rahman, Mushfiqur, 2011, International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials.

TGA Látex-gelatina

El equipo de TGA se programó bajo los siguientes parámetros, primero se inició con una temperatura de 50 °C la cual se mantuvo por 2 minutos, se subió hasta 250 °C a una velocidad de 15 °C por minuto, se mantuvo esa isoterma durante 2 minutos para luego llegar hasta los 480 °C a la misma velocidad de calentamiento. Finalmente, se dejó carbonizar la muestra hasta los 900 °C.

Figura 27

TGA de Látex-gelatina

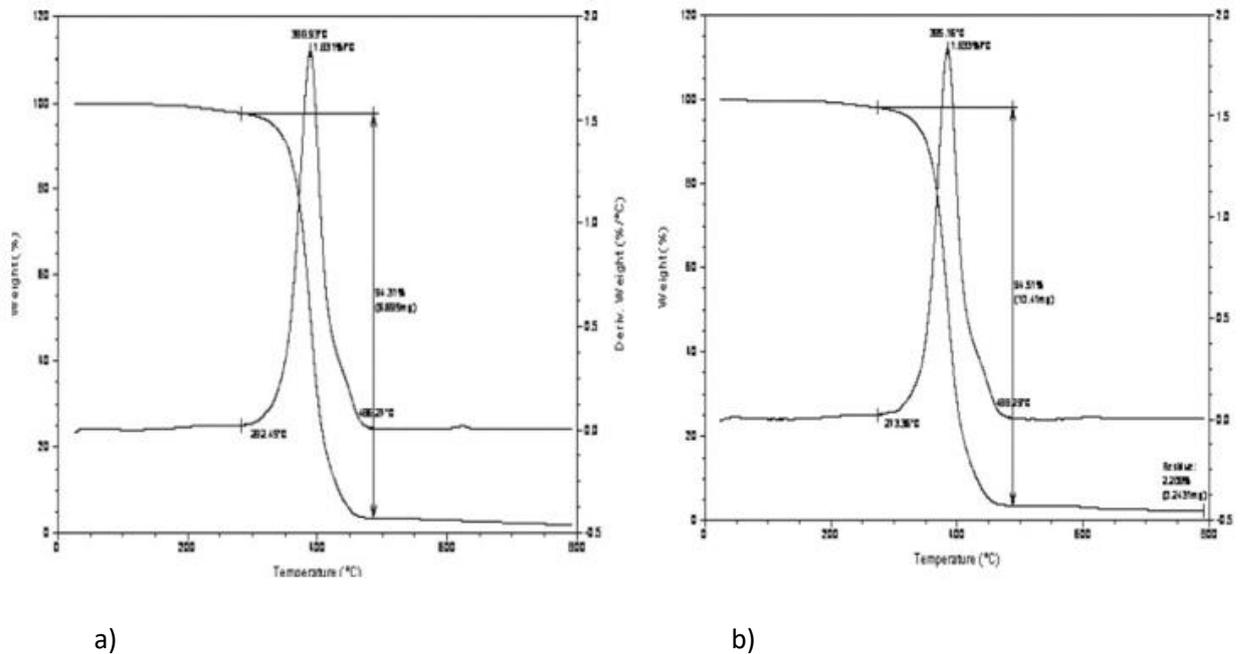


Nota. la figura muestra la pérdida de masa en función del calor y la primera derivada del sistema para encontrar el pico máximo de pérdida de masa.

La figura del TGA del copolímero látex-gelatina muestra una sola zona donde se pierde el 94.59% de masa. La zona empieza a los 191, 399 °C hasta cerca de los 480 °C para posteriormente ser carbonizados a los 900 °C, la primera derivada muestra que la degradación máxima ocurre a los 399.823 °C.

Figura 28

TGA de látex natural y látex con PEG obtenidos de la literatura



Nota. "a" muestra el tga del látex natural mientras que "b" muestra el resultado de combinar látex con de PEG. Tomado de Abhilash, George, 2009, Journal of Applied Polymer Science

La figura 28 muestra los picos de máxima degradación para "a" de 388.9 °C mientras que para "b" es de 385.3 °C, con esto se puede confirmar que el copolimero látex-gelatina posee una mayor resistencia térmica que el látex natural y que el PEG disminuye su punto de degradación. La gelatina aumenta en mas de 10 °C el punto de máxima degradación. Abhilash (2009)

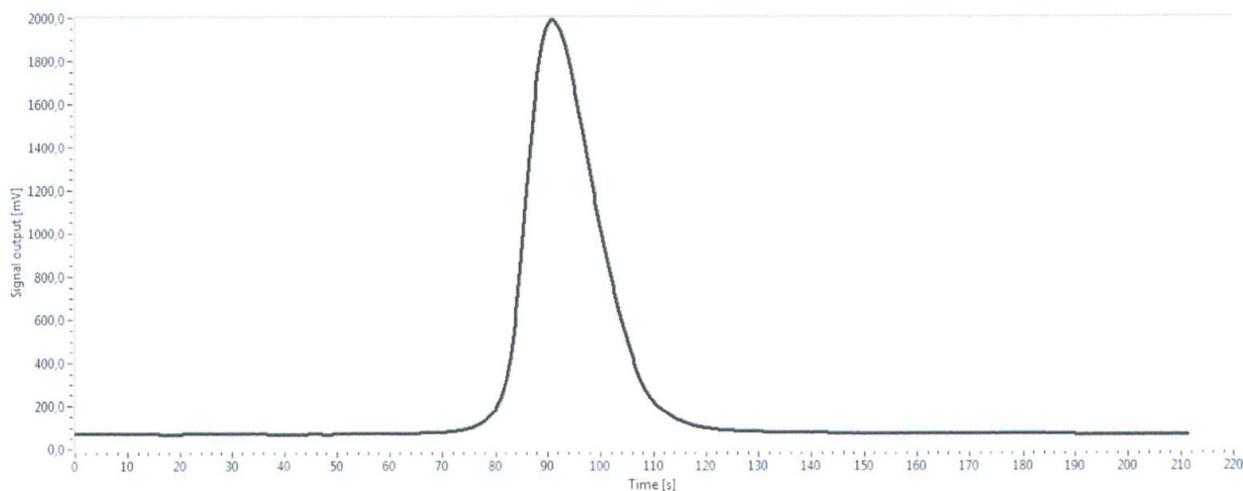
Dumas

El análisis dumas es una técnica que nos permite medir el contenido de un gas específico contenido en una muestra al ser combustionado en un ambiente controlado, la prueba fue realizada en la Universidad Técnica de Ambato dando como resultado que la gelatina del proceso 2 y 3 presenta una recuperación de proteína con una diferencia significativa. La muestra tratada fue de 55.34 mg de gelatina del proceso 2 y 48.62 mg en la película del proceso 3, ambos tuvieron un factor

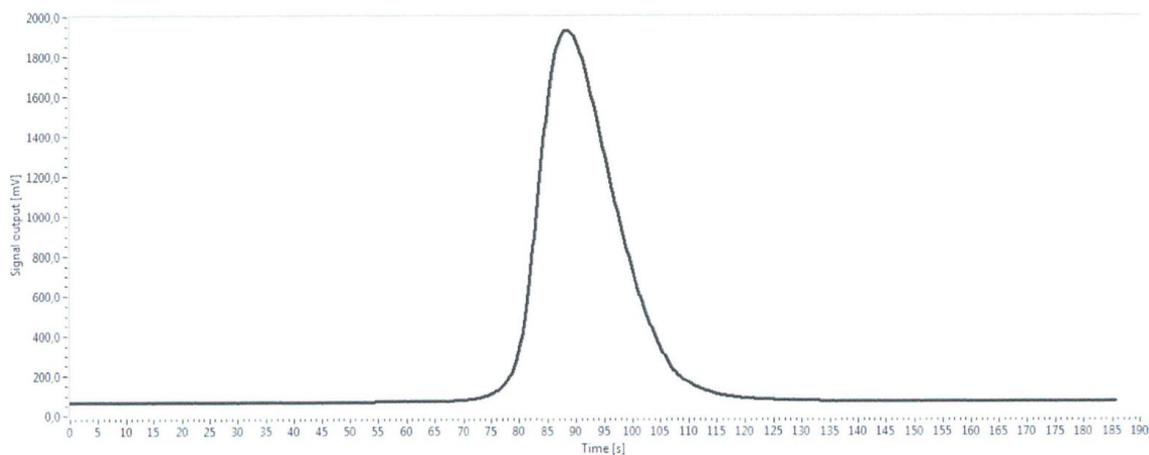
de proteína de 6.25, la gelatina en polvo uso 7,6967 mg de nitrógeno para el análisis dando como resultado un 86,925 % de proteína lo que concuerda con la bibliografía que menciona que la gelatina es netamente una fuente de proteína, el otro 13.075% puede ser considerado como grasa residual junto con agua y otras impurezas que pueden existir. La película de gelatina por otro lado trabajó con 7,469 mg de nitrógeno y dio como resultado que el material posee un 96,012 % de proteína, el aumento de proteína se debe al uso del carbón activado que adsorbe la grasa disuelta en el licor previo a la extracción, filtración y secado por lo que obtenemos una disminución en las impurezas de la gelatina teniendo un mejor rendimiento en el proceso.

Figura 29

Análisis dumas



(a)



(b)

Nota. La figura 26 muestra los gráficos del análisis dumas para “a” siendo gelatina en polvo y “b” como la película de gelatina donde se tiene al eje X como el tiempo y eje Y siendo la señal de nitrógeno que se puede obtener de la proteína mediante la combustión y reacciones de oxidación-reducción donde los derivados de nitrógeno se convierten en N_2 .

Retención de agua

Esta prueba fue realizada agregando agua a una muestra de 2.2297 g del residuo de carnaza y el peso fue midiéndose en intervalos de 5 minutos hasta que el colágeno se sature por completo.

Tabla 21*Retención de agua*

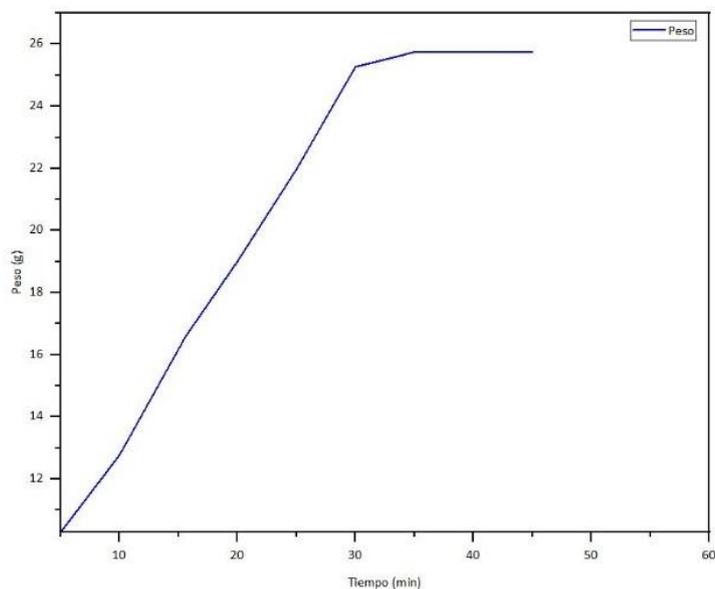
Tiempo (min)	Peso (g)
5	10,2824
10	12,7761
15,6	16,5885
20	19,0041
25	21,9745
30	25,2732
35	25,7452
45	25,7586

Nota. La tabla muestra la adsorción de agua en función del tiempo.

Se puede determinar que el residuo de carnaza puede crear una estructura de colágeno que retiene hasta casi 12 veces su peso en agua, la adsorción presenta su pico máximo a los 27 minutos de entrar en contacto con el agua.

Figura 30

Gráfico de retención de agua



Nota. la figura muestra la retención de agua en función del tiempo del residuo de extracción y secado (Colágeno)

Análisis de tensión.

El análisis de tensión se realizó utilizando un texturómetro de carga máxima de 10 kg con una distancia meta de 100 mm entre placa y placa, las probetas fueron realizadas originalmente como un rectángulo con una medida estándar de 8x2 cm, pero al realizar las primeras pruebas se presentó un inconveniente debido a que las placas no podían llegar al punto de quiebre por lo que se terminó con placas rectangulares de 2 cm de ancho y 2.5 de largo. Se realizaron 10 experimentos por cada procedimiento utilizado para obtener una mejor lectura. La tabla 19 muestra la proporción látex gelatina utilizado en la formación de las películas degradables.

Tabla 22*Relación látex-gelatina en ensayos de tensión*

	Procedimiento 1	Procedimiento 2	Procedimiento 3
Relación Látex gelatina	1:1	1:2	1:3

Nota. Relación masa: masa látex gelatina por cada proceso analizado.

La tabla 20 muestra un resumen los picos de carga obtenidos con el texturometro.

Tabla 23*Resultados prueba de tensión*

	Procedimiento 1	Procedimiento 2	Procedimiento 3
	573	1165	1441
	381	869	1012
	510	1078	1162
	441	851	1040
	768	1462	1093
	743	1630	1088
	501	802	1269
	453	1409	1240
	769	1008	1115

Procedimiento 1	Procedimiento 2	Procedimiento 3
591	1070	

Nota. Resultados del texturómetro que presenta los distintos puntos máxima de carga en g.

Se procedió a utilizar el software Minitab para obtener la desviación estándar y la carga promedio que soporta la película G-L en el equipo obteniendo y cuyos resultados se encuentra en la tabla 21.

Tabla 24

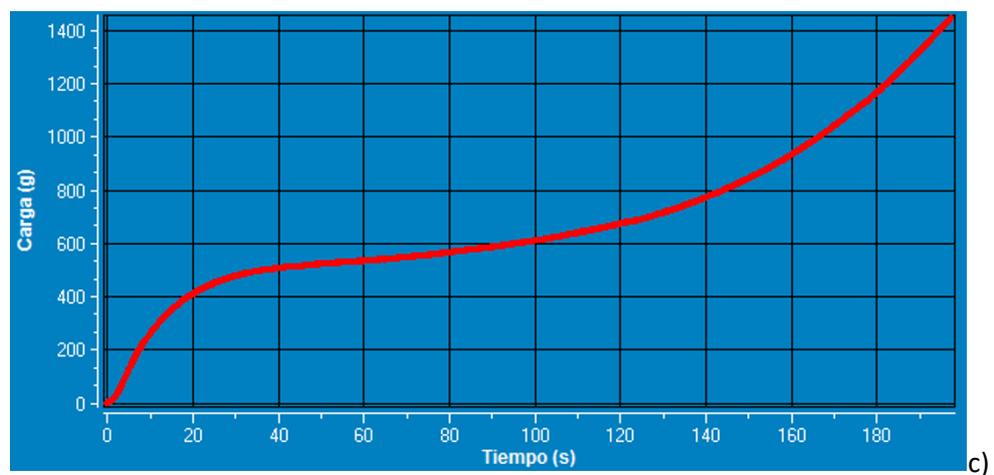
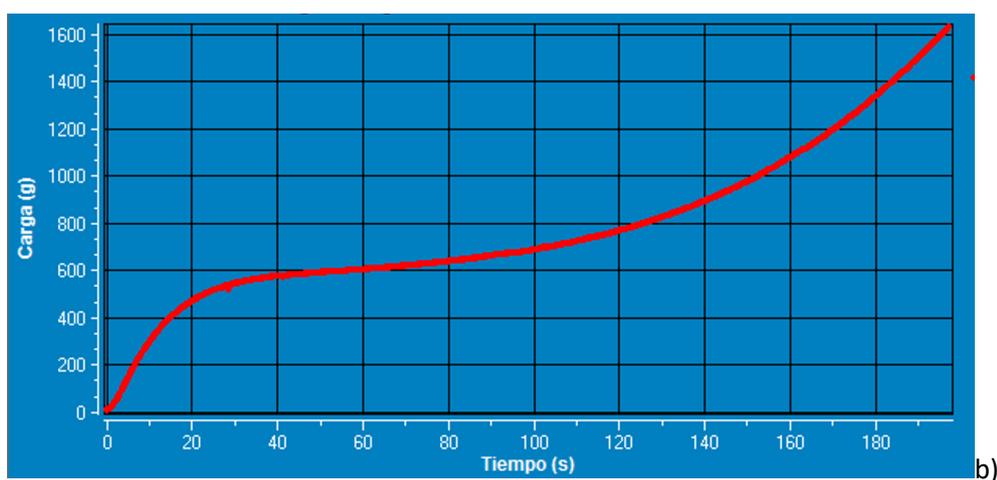
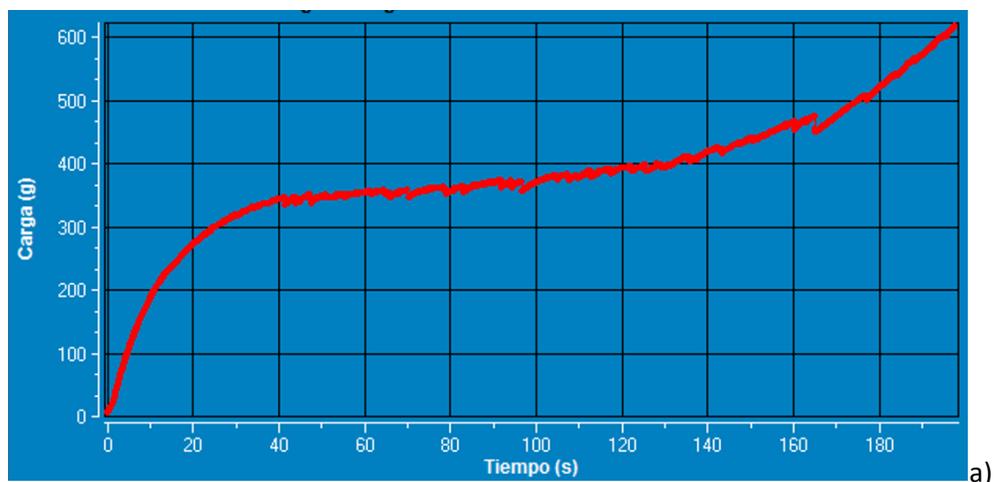
Estadística de los procesos

Procedimiento	Media	Error estándar	Desviación estándar	Valor máximo
1	573	45.2	142.8	769.9
2	1134.4	89,1	281.6	1630
3	1162.2	44.9	134,7	1441.0

Nota. Resultados estadísticos de cada proceso.

Analizando los distintos procesos se puede decir que el procedimiento número tres posee una media superior al resto, presenta un error estándar bajo con una desviación pequeña de 134.7 gramos, pero no alcanzan valores tan altos como el proceso 2. Cabe destacar que las nuevas placas de 2 cm de ancho por 2.5 cm de largo tampoco pudieron ser fracturadas por el equipo lo que ocasiona que no se pueda realizar un análisis completo y solo podamos deducir que el material puede soportar una carga como mínima de 769.9 gramas hasta una máxima que supera los 1630 gramos.

Figura 31

Gráficos de la prueba de tensión

Nota. Se representa las gráficas de carga contra tiempo a diferentes proporciones. “a” 1:1, “b” 1:2, “c” 1:3

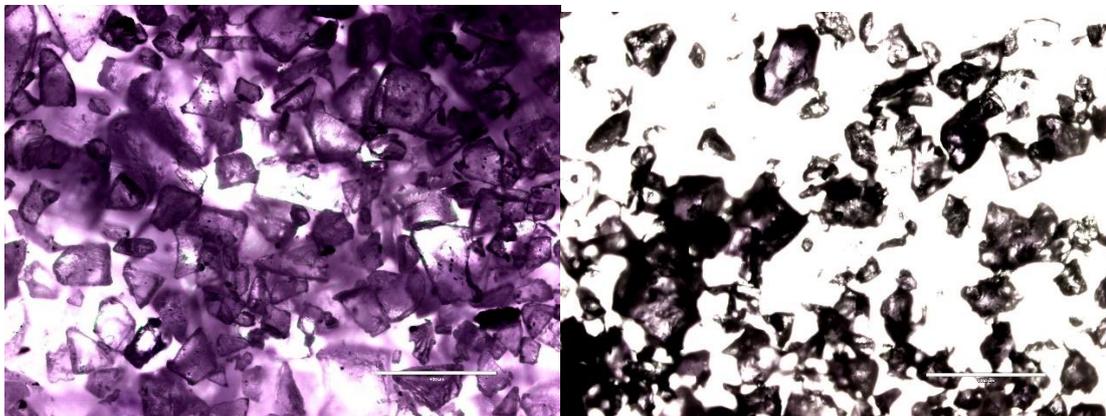
En la figura 31-a se puede apreciar como el material presenta una resistencia a fracturarse alrededor de los 480 gramos de carga sin embargo el equipo sigue sin tener las condiciones adecuadas para fracturar la película, en b y en c se puede notar claramente que el material se vuelve mucho más elástico y resistente a la fuerza empleada por el equipo.

Microscopio EVOS

Se realizó utilizando un microscopio óptico Evos con un lente de aumento x10 y una escala de 400 micrómetros para observar las principales diferencias que existen entre los productos obtenidos presentados en la figura 32.

Figura 32

Microscopía óptica gelatina y colágeno



a)

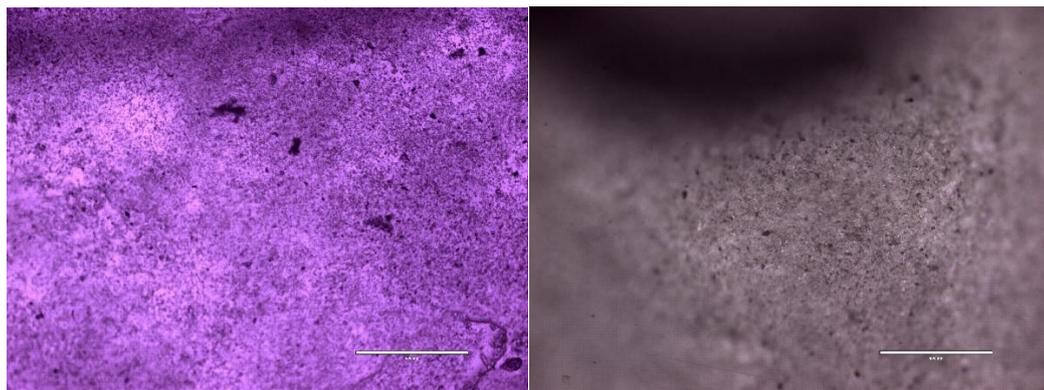
b)

Nota. “a” muestra la gelatina obtenida a partir de la carnaza, “b” muestra el colágeno residual del proceso de extracción

A pesar de que tanto la gelatina como el colágeno fueron pulverizados con la ayuda de un molino de café eléctrico se puede notar que la gelatina presenta un grano ligeramente más grande que el colágeno además de poseer un color morado característico.

Figura 33

Comparación del copolímero GL y látex comercial

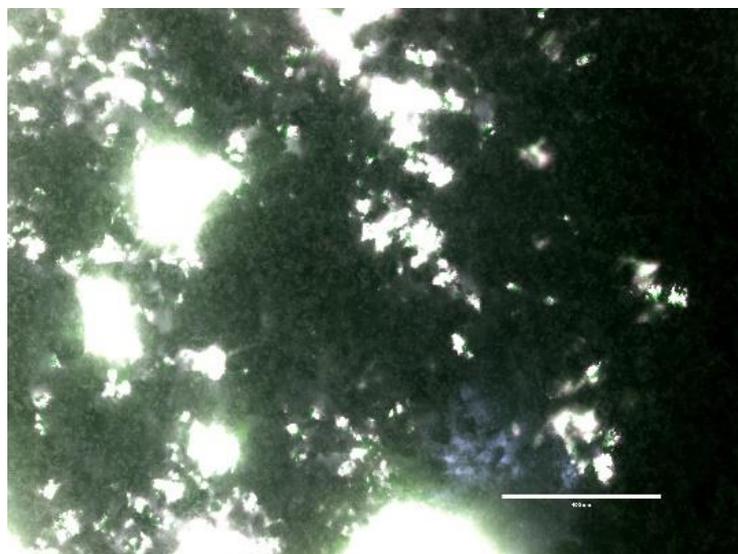


a)

b)

- *Nota.* “a” muestra al copolímero GL mientras que “b” es látex usado comercialmente

Tanto el copolímero como el látex comercial presenta una dispersión similar con la diferencia que en la figura 33 “a” presenta un color parecido al de la gelatina, también se puede observar la presencia de pequeños coágulos que pueden ser interpretados como puntos de unión de la gelatina con el látex.

Figura 34*Estructura del colágeno*

Nota. Colágeno residual del proceso de extracción

La figura 34 se obtuvo después de hidratar una muestra de colágeno con agua para luego ser secada en una estufa a una temperatura moderada, se observa que la muestra presenta una estructura interna porosa donde antes contenía moléculas de agua, esto sugiere que el colágeno no absorbe ni adsorbe agua, sino que crea una estructura acuosa que retiene dichas moléculas.

Recuperación de la carnaza.

La cantidad total de gelatina que se recupera del proceso depende de la cantidad de colágeno que posea la carnaza por lo que para determinar el porcentaje de colágeno en dicho material se procedió a pesar una muestra de 15.3786 gramos de carnaza fresca que fue sometida a las mismas condiciones de extracción del proceso 3 por lo que después de su hidrolizado se procedió a secarla y pesarla dando como resultado 5.32023 gramo residuales lo que significa que se tiene un 34.59% de proteína presente en la carnaza bovina.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El mejor proceso para la extracción de gelatina presente en el residuo del proceso de dividido de la Curtiembre Tungurahua fue la ruta número 3 que nos permite recuperar 4.24 gramos de gelatina total, siendo el porcentaje de recuperación de 14.13 % comparado con el peso total inicial de la muestra y de 81.7191 % frente al colágeno.
- El uso de carbón activado para el proceso de filtrado permite eliminar una mayor cantidad de grasa o cualquier otro material orgánico, mientras que un correcto control del pH del licor de extracción permite poseer unas mejores propiedades gelificantes, estas condiciones ideales son una temperatura A durante 12 horas en la estufa dando como resultado una película translúcida.
- Después de comparar los resultados de tensión obtenidos en el texturómetro se puede decir que el procedimiento más adecuado fue el número 3 con una relación 1:3, pues presenta un soporte de carga medio de, 1162.2 gramos con una desviación estándar de 134.7 gramos, sin embargo, cabe recalcar que el equipo presenta limitaciones al no tener la capacidad de llevar a la película de GL su punto de rotura.
- El polímero de GL aumenta el pico máximo de degradación de la materia en un equipo TGA en más de 10 grados centígrados y pierde cerca del 94.59 % de su masa cuando alcanza los 400 °C. Tiene solo un pico de pérdida que posee una pendiente ligeramente inclinada que representa la rápida degradación de la masa en ese intervalo de temperatura.
- Los espectros obtenidos del FTIR demuestran que el polvo amarillento del proceso número 2 y la película translúcida del número 3 poseen picos muy similares a la gelatina, por lo que puede concluirse que se tratan del mismo compuesto, por otro lado, el espectro IR del

residuo de extracción presenta una gran similitud a los IR del colágeno lo que tiene sentido, pues se trató la carnaza con reactivos que ayudaron a eliminar el resto de impurezas.

- El colágeno en polvo residual tiene la capacidad de contener hasta 12 veces su propio peso en agua, donde la máxima retención ocurre de manera proporcional hasta los 37 minutos y se comienza a estabilizar a los casi 40.
- La imagen obtenida del microscopio óptico permite ver una estructura entre translúcida y cristalina de la gelatina recuperada, que presenta a nivel micro un color morado que puede ser la causa de que el copolímero de GL y el látex comercial se diferencien igualmente por el color, teniendo una distribución de sus partículas similares donde se puede observar pequeñas aglomeraciones que se pueden asumir como partículas de gelatina.

Recomendaciones

- Para tener una visión clara de la máxima tensión que puede soportar las películas de GL se debe utilizar un texturómetro con una carga superior a los 10 kg para se pueda alcanzar el punto de rotura del material.
- Se recomienda realizar un análisis SEM a las películas de GL para observar el entrecruzamiento entre los monómeros de isopreno y la gelatina recuperada.
- Se puede realizar pruebas con el residuo de extracción (colágeno) para verificar si puede ser utilizado como un remplazo de la sílica gel en procesos de sorción de humedad.

Bibliografía

- Camacho-Támara, A. M., Reyes-Pineda, H., Li, A., & Lozano-Bohórquez, I. (2014). *CIENCIAS-QUÍMICA 83 Análisis y caracterización fisicoquímica del látex de caucho especie Hevea Brasiliensis*
Analysis and characterization of rubber látex species Hevea Brasiliensis. 9, 83–97.
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 9(S1), 122–132.* <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- Eluk, D. (2006). Modelado Reocinético de la Maduración de Soluciones de Gelatina en Flujo de Corte. *Instituto de Desarrollo Tecnológico Para La Industria Química Universidad Nacional Del Litoral, 0(0), 1–193.*
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/508/tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Fernández Bao, S. (2020). Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. *Upc, 73 Pag.*
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hänninen, H. E. (2003). Stress Corrosion Cracking. *Comprehensive Structural Integrity, 6, 1–29.*
<https://doi.org/10.1016/B0-08-043749-4/06133-4>
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects. *Trends in Food Science and Technology, 19(12), 644–656.*
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.001>
- Li, Y., Guo, R., Lu, W., & Zhu, D. (2019). Research progress on resource utilization of leather solid waste. *Journal of Leather Science and Engineering, 1(1).* (“Sci-Hub | Research progress on resource utilization of leather solid ...”) (“Sci-Hub | Research progress on resource utilization of leather solid ...”) <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0008-6>
- Mamani-Huamán, C. A. (2018). Obtención de colágeno por el método de hidrólisis alcalina a partir

de (Tarsos) de pollo provenientes de la industria avícola en la región Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, 107.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v24n4/v24n4a6.pdf>

Pergamon, ~, Simeonova, L. S., & Dalev, P. G. (1996). UTILIZATION OF A LEATHER INDUSTRY WASTE.

In *Waste Management* (Vol. 16, Issue 8).

Rodríguez, M. B. (1990). Obtención de gelatina utilizando carnaza seca como materia

prima. *Tecnología en Marcha*, 10(4), 84-94.

Rùiz, C., & Basualdo, M. S. (2001). Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. *Historia*, 1,

55. <ftp://decsai.ugr.es/pub/usuarios/castro/Material-Redes-Neuronales/Libros/matich-redesneuronales.pdf>

Salinas, V. (2014). El Cuero, producción Industrial y artesanal en el Ecuador Análisis comparativo

sobre el método de producción del cuero entre las provincias de Tungurahua y Azuay. In

Universidad del Azuay. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2kjcwh7.142>

Anexos