



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Optimización de la composición química de un pegamento a base a colágeno hidrolizado proveniente de residuos de wet blue de la industria del cuero.

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero Biotecnólogo, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Teneda Tiban José Wladimir

Tutor: Ing. Nelly Esther Flores Tapia, PhD.

Ambato – Ecuador

Septiembre - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Nelly Esther Flores Tapia, PhD.

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 25 de julio de 2023.

Ing. Nelly Esther Flores Tapia, PhD.

1716253305

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Wladimir Teneda Tibán, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo son absolutamente auténticos y personales a excepción de las citas bibliográficas



José Wladimir Teneda Tibán

1804739215

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga uso de este Trabajo de Titulación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación con los fines de difusión pública, apruebo la reproducción de este, dentro de la Universidad, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos como autor.



José Wladimir Teneda Tiban

1804739215

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

.....
Presidente del tribunal

.....
PhD. Pablo Vinicio Tuza Alvarado
C.I.: 1104063241

.....
Mg. Daniel Alfonso Cabrera Valle
C.I.: 1802560595

Ambato, 22 de agosto del 2023

DEDICATORIA

Aquel joven soñador que una vez temió no llegar hasta aquí, hoy se muestra agradecido frente a esta etapa culminante. Seis años de esfuerzo, pasión y perseverancia nos han llevado a este momento. A ese valiente que decidió perseguir sus sueños, gracias por nunca rendirte y por recordarme que puedo alcanzar lo inalcanzable. Hoy, al concluir esta etapa de mi vida, dedico este logro a mi pasado, presente y futuro, con gratitud y amor por todo lo que soy y lo que he llegado a ser. ¡A seguir adelante, con la seguridad de que cada sueño es alcanzable!

José Wladimir Teneda Tiban

AGRADECIMIENTO

A la carrera de Ingeniería en Biotecnología, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, que mediante sus docentes han instruido de la mejor manera con sus sabios conocimientos a todos los estudiantes, forjándonos como líderes e investigadores.

A mis padres Vicente, Aida y mi hermana Anabel, de igual forma al resto de mi familia consanguínea y política quienes, a pesar de la distancia, han sido un apoyo fundamental e incondicional en todos los momentos de mi vida.

A Erick Sailema y sus padres por estar presentes durante este largo proceso, lleno de altibajos pero que gracias a Uds. fue más fácil culminarlo.

A mis amigos, Ercik S., José, Brenda, Geovana, Taty, Grace, Kevin, Elvis y todos los “Purikunas”, quienes fueron partícipes a lo largo de mi carrera de pregrado, por todos los buenos e inolvidables momentos vividos, cada grato momento dentro y fuera de la Universidad, por ser un apoyo incondicional en cada etapa educativa y cultural vivida.

Mi eterno agradecimiento a la PhD. Nelly Flores, PhD. Orestes López e Ing. Geovani Freire, por compartir su amplio conocimiento a lo largo de este proceso.

A la Curtiembre “Tungurahua” y cada uno de sus colaboradores quienes, con su conocimiento y predisposición, aportaron el presente trabajo de investigación.

Y en especial: A mi “T-Rex” Damian, tu fuiste pieza fundamental en un momento crucial de mi vida. ¡Muchas Gracias! Te quiero ♥♂

José Wladimir Teneda Tiban

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. La industria curtiembre y su impacto en el Ecuador	1
1.1.2. La industria del cuero	3
1.1.3. La piel	4
1.1.3.1. Histología	4
1.1.3.2. Función de la piel	5
1.1.3.3. Tipos de pieles.....	6
1.1.4. Colágeno	7
1.1.5. Proceso de curtición del cuero	7
1.1.6. Impacto ambiental de la industria curtiembre.....	9
1.1.6.1. Efluentes líquidos producidos por la industria del cuero	9
1.1.6.2. Residuos sólidos producidos por la industria del cuero	9
1.1.7. Virutas de cromo o wet blue	10
1.1.8. Manejo de residuos de wet blue.....	10

1.1.9.	Usos del colágeno hidrolizado.....	11
1.1.10.	Pegamentos.....	11
1.2.	Objetivo.....	14
1.2.1.	Objetivo general.....	14
1.2.2.	Objetivos específicos.....	14
1.3.	Hipótesis.....	15
1.3.1.	Hipótesis nula.....	15
1.3.2.	Hipótesis alternativa.....	15
CAPÍTULO 2:.....		16
METODOLOGÍA.....		16
2.1	Metodología.....	16
2.1.1	Recursos materiales.....	16
2.2	Métodos.....	18
2.2.1	Tipo de investigación.....	18
2.2.2	Localización.....	18
2.2.3	Obtención de materia prima.....	18
2.2.4	Obtención de colágeno hidrolizado a partir de wet blue.....	18
2.2.5	Preparación de la solución acuosa de colágeno hidrolizado al 30%.....	19
2.2.6	Preparación de la solución acuosa de alcohol polivinílico (PVA).....	19
2.2.7	Preparación de las mezclas de pegamentos.....	19
2.2.8	Medición del pH de la mezcla de pegamento.....	21
2.2.9	Medición del grado de polimerización de la mezcla por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	21
2.2.10	Medición del secado del pegamento.....	21
2.2.11	Método de prueba estándar para evaluar la adherencia con cuchillo.....	22
2.2.12	Método de prueba estándar para resistencia al pelado de adhesivos.....	22

2.2.13	Método de prueba estándar para viscosidad aparente de adhesivos con propiedades de fluidez dependientes de la velocidad de corte	23
2.2.14	Medición de sólidos totales.....	24
2.2.15	Determinación del color.....	25
2.2.16	Análisis del curado del pegamento por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	25
2.2.17	Tipo de diseño experimental.....	26
2.2.18	Análisis estadístico de datos	26
CAPITULO 3		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
3.1.	Determinación del pH y tiempo de secado de los pegamentos.	28
3.2.	Análisis por espectrofotometría infrarroja FT-IR.....	30
3.3.	Análisis de la adhesividad	35
3.4.	Análisis de la formulación óptima.....	36
3.5.	Evaluación de los parámetros del adhesivo.....	38
3.6.	Análisis de calorimetría de barrido diferencial DSC del pegamento óptimo	40
CAPITULO 4		44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		44
4.1.	Conclusiones	44
4.2.	Recomendaciones	45
MATERIALES DE REFERENCIA		46
ANEXOS		56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Representación de la histología de la piel</i>	5
Figura 2. <i>Estructura de colágeno</i>	7
Figura 3. <i>Flujograma del proceso de curtido de cuero</i>	8
Figura 4. <i>Formación de la unión adhesiva a través de un adhesivo sin reacción química</i>	12
Figura 5. <i>Espectro infrarrojo de colágeno hidrolizado seco</i>	30
Figura 6. <i>Espectro infrarrojo de acetato de polivinilo</i>	31
Figura 7. <i>Espectro infrarrojo de alcohol polivinílico</i>	32
Figura 8. <i>Espectros FT-IR de resina acrílica</i>	33
Figura 9. <i>Espectros FT-IR de los componentes del pegamento y del pegamento</i>	34
Figura 10. <i>Prueba de pelado evaluado en las diferentes formulaciones</i>	36
Figura 11. <i>Gráfica de superficie</i>	37
Figura 12. <i>Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento y el colágeno</i>	40
Figura 13. <i>Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento</i>	41
Figura 14. <i>Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento</i>	42
Figura 15. <i>Calorimetría de barrido diferencial del colágeno hidrolizado</i>	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Reactivos de laboratorio</i>	16
Tabla 2. <i>Equipos de laboratorio</i>	16
Tabla 3. <i>Insumos de laboratorio</i>	17
Tabla 4. <i>Formulaciones del pegamento</i>	20
Tabla 5. <i>Factores y niveles del diseño experimental</i>	26
Tabla 6. <i>pH y tiempo de secado de las formulaciones de pegamentos</i>	28
Tabla 7. <i>Categorización de los diversos pegamentos según su adhesividad</i>	35
Tabla 8. <i>Caracterización del pegamento óptimo</i>	38

RESUMEN EJECUTIVO

La industria curtiembre en Ecuador produce cantidades ingentes de residuos sólidos, como virutas wet blue que tienen impacto negativo sobre el ambiente. El wet blue presentan cantidades de colágeno que pueden ser recuperadas en su forma hidrolizada, para su uso en la elaboración de pegamentos funcionales y ecoamigables, contribuyendo a la economía circular.

Este estudio se enfocó en optimizar la composición de un pegamento utilizando colágeno hidrolizado extraído de dichos residuos como materia prima. Las formulaciones de pegamento se obtuvieron al integrar colágeno hidrolizado, acetato de polivinilo, resina acrílica, alcohol polivinílico y glicerina durante tres horas con ayuda de agitación. Luego se realizaron pruebas de resistencia al pelado para comprobar la adherencia y caracterización del pegamento con mayor adherencia. La formulación que contiene 40 g de colágeno hidrolizado y 16 g de acetato de polivinilo presentó N por cm. Aunque esta combinación mostró mayor adhesividad, no se logró alcanzar una optimización total, pues no se encontró una concentración de colágeno y acetato que produjera resultados aún más sobresalientes. Los parámetros de la mejor formulación, tales como el color, sólidos totales, viscosidad y estabilidad térmica, se acercan a valores de pegamentos comerciales.

El pegamento desarrollado posee propiedades adhesivas prometedoras y ofrece ventajas sostenibles al aprovechar recursos renovables y valorizar los residuos de wet blue. Aunque no se alcanzó una optimización completa, estos resultados proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en diversos sectores industriales, fomentando así el desarrollo de adhesivos más amigables con el medio ambiente y sostenibles.

Palabras claves: pegamento optimizado, colágeno hidrolizado, curtiembres, adherencia, resinas, curtiduría Tungurahua.

ABSTRACT

The tanning industry in Ecuador produces large amounts of solid waste, such as Wet Blue Shavings, which have a negative impact on the environment. Wet Blue contains large amounts of collagen, that can be recovered in its hydrolyzed form to produce functional and environmentally friendly adhesives, contributing to the circular economy.

This study focused on optimizing the composition of an adhesive using hydrolyzed collagen obtained from these wastes as raw material. The glue formulations were prepared by integrating hydrolyzed collagen, polyvinyl acetate, acrylic resin, polyvinyl alcohol, and glycerin for three hours using stirrers. Peel strength tests were then performed to test the adhesion and characterization of the glue with the best adhesion. The formulation containing 40 g of hydrolyzed collagen and 16 g of polyvinyl acetate exhibited N per cm. Although this combination showed the higher adhesion, full optimization was not achieved because no concentration of collagen and acetate was found to give even better results. The parameters of the best formulation, such as color, total solids content, viscosity, and thermal stability, are close to the values of commercial glues.

The developed glue possesses promising adhesive properties and offers sustainable benefits by using renewable resources and recycling wet blue waste. Although full optimization could not be achieved, these results provide a solid basis for future research and applications in various industry sectors, promoting the development of more environmentally friendly and sustainable adhesives.

Keywords: optimized glue, hydrolyzed collagen, tanneries, adhesion, resins, Tungurahua tannery.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. La industria curtiembre y su impacto en el Ecuador

La industria del cuero es uno de los sectores fabriles más antiguos y diseminados del mundo. Esta industria se especializa en transformar pieles de animales, principalmente de origen bovino, porcino y ovino, en un material denominado como cuero. Las pieles son la materia prima de las curtiembres y son subproductos provenientes de las industrias cárnicas (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012**).

En Ecuador se producen en torno a 350 mil cueros y pieles anualmente, destinadas en su mayoría a la exportación y en menor cantidad al consumo interno. El país posee varias curtidurías a lo largo de su territorio y en la provincia de Tungurahua se concentra el 75% de estas industrias (**Salinas, 2014**). La industria curtidora produce grandes cantidades de desechos sólidos, líquidos y gaseosos durante el proceso curtido en comparación con la producción de cuero (**Moreno et al., 2010**). De 1 tonelada de pieles saladas en húmedo se producen 600 kg de residuos sólidos y solo 200 kg de cuero (**Rao et al., 2002**). Estos desechos sólidos de curtiduría lo conforman principalmente recortes de pieles y cuero en bruto, pieles divididas, descarnado con cal y virutas de cromo (**Kumari et al., 2016**). La contaminación producida por los desechos procedente de las curtiembres es alarmante debido a la poca regulación gubernamental en el sector, por la cantidad y la peligrosidad de estos; sobre todo si se considera que gran parte de las curtidurías los eliminan directamente en el ambiente (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012**).

Pese a su importancia económica, la industria del cuero en Ecuador también es responsable de la producción de grandes cantidades de residuos sólidos que, si no son manejados adecuadamente, pueden contaminar el aire, el agua y el suelo, impactando negativamente en el medio ambiente y en la salud de trabajadores y la población

cercana debido a los productos químicos y materiales peligrosos presentes en estos desechos (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2019**). En el caso de la ciudad de Ambato, gran parte de residuos sólidos provenientes de las curtiembres se depositan en rellenos sanitarios municipal sin pasar por un tratamiento previo (**Pérez & Segarra, 2019**).

Para el manejo adecuado de los residuos sólidos provenientes de las curtiembres, las curtidurías deben adoptar prácticas sostenibles para reducir la cantidad de residuos que generan y para maximizar la reutilización y reciclaje de estos (**Procuraduría General del Estado del Ecuador, 2019**). En este sentido, el reciclaje de los residuos sólidos provenientes de las curtiembres puede generar diversos productos tales como fertilizantes, detergentes, pellets de cuero, entre otros productos (**Velásquez et al., 2015**).

En el caso de las virutas de cromo, estas representan el 26% de los residuos totales y están compuestos por un complejo colágeno-cromo (**Moreno et al., 2010**). El cromo VI presente en dichas virutas puede generar problemas de salud debido pues es catalogada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como cancerígena y al descargar estas virutas al ambiente sin un previo tratamiento generan grandes problemas ambientales (**Shaikh et al., 2017**).

A pesar de esto, la industria del cuero dinamiza la economía del país, debido a que genera empleo antes y después de su producción, lo que impide que puedan ser cerradas (**Sánchez et al., n.d.**). Eventualmente el Estado optó por exigir a las curtiembres a reducir los desperdicios en la fuente por medio de un proceso controlado de gestión de desechos (**Martinez & Romero, 2018**). Hay que destacar que la gestión de residuos tiene un costo que es asumido por la empresa (**GAD Municipal de Ambato, 2014**).

Una alternativa para reducir el nocivo impacto de las virutas de cromo es a través de un proceso de descurtido por hidrólisis alcalina o alcalina-enzimática, hasta obtener un hidrolizado de colágeno e hidróxido de cromo (torta de cromo). El hidrolizado de colágeno tiene aplicaciones industriales limitadas hasta el momento, pero sirve como materia prima en la elaboración de pegamentos (**Moreno et al., 2010**) que puede destinarse a la industria del cartón, a la industria de la madera, la industria del cuero y afines.

Ante los problemas enlistados anteriormente, el presente proyecto busca reducir la contaminación provocada por los desechos sólidos wet blue, transformándolos en un adhesivo optimizado. La elaboración del adhesivo reducirá la cantidad de desechos y contribuirá a la economía circular al darle un valor agregado.

1.1.2. La industria del cuero

La industria del cuero o curtiembre tiene como finalidad transformar la cubierta corporal de animales, generalmente bovino y ovinos, en productos comercializables como pieles y cueros, aplicando un proceso de curtido (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012b**). El curtido de los pellejos animales implica el uso de químicos, principalmente sales de cromo, para lograr estabilizar su estructura proteica e inhibir los mecanismos de descomposición (**Osinsky et al., 2006**) hasta conseguir un material que persista a través del tiempo con característica de flexibilidad, suavidad, impermeabilidad e imputrescible (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012**).

El termino cuero se usa para designar al producto curtido de la cubierta corporal de animales grandes, como vacas o caballos, mientras que la piel se trata de pellejos curtidos de animales pequeños, como ovejas (**Osinsky et al., 2006**). Estos pellejos son subproductos provenientes principalmente de la industria cárnica, pero también proceden de animales fallecidos de forma natural o también del producto de la caza.

La manufactura de pieles y cueros a partir de las cubiertas corporales curtidas de animales para confeccionar prendas de vestir se aplica desde hace milenios y actualmente, la industria curtiembre todavía es fundamental **(Osinsky et al., 2006)**. Con las pieles se elaboran una amplia gama de prendas, como abrigos, chaquetas, sombreros, guantes y botas, así como adornos para los demás tipos de prendas. En el caso del cuero se usa tanto para confeccionar prendas como para la manufactura de otros productos, como la tapicería para carros y muebles, y una extensa variedad de artículos de piel, como correas de reloj, bolsos, artículos de viaje y de forma destacada, el calzado es otro producto clásico del cuero **(Salguero, 2018)**.

A escala industrial, se aprovecha la piel de animales acuáticos como el castor, la nutria, el ratón almizclero y la foca; entre los animales de tierra destacan especies, como el zorro, el lobo, el visón, la comadreja, el oso, el mapache, el leopardo y el ocelote. De forma complementaria, se aprovecha además pieles de crías de ciertos animales, como las vacas, caballos, cerdos y cabras **(Baretto, 2006)**.

1.1.3. La piel

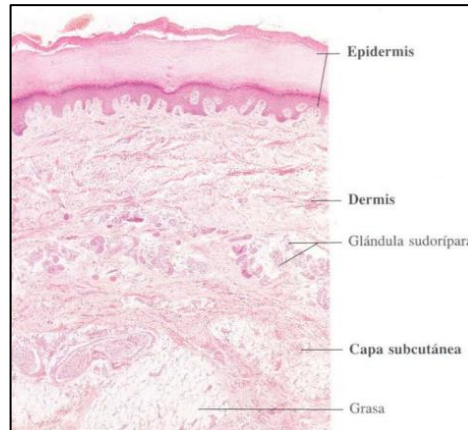
Es el órgano de mayor extensión de un animal y se trata de una envoltura externa que presenta resistencia y flexibilidad, por tal motivo es utilizada como materia prima para la manufactura de cuero terminado a través de un proceso de curtición, mismo que se destina para elaboración de prendas de vestir y fabricación de calzado **(Barioglio, 2001)**.

1.1.3.1. Histología

La piel animal presenta variaciones de una especie a otra, pero, además dentro de una misma especie factores como la raza, el lugar de origen y condiciones de crianza, influyen en las características estructurales de la piel **(Costa et al., 2006)**, sin embargo, la composición entre bovinos, ovinos y equinos suele ser similar. Se halla conformada por tres capas epidermis, dermis e hipodermis, como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Representación de la histología de la piel



Fuente: (Geneser, 1998).

La dermis es la capa conformada principalmente por tejido conectivo, se encuentra por debajo de la lámina basal y sobre la hipodermis. Se halla formada por fibras reticulares, fibroblastos y fibras de colágeno tipo I y II. Mas del 90 % de su estructura los conforman las fibras de colágeno. La dermis es la capa conformada principalmente por tejido conectivo, se encuentra por debajo de la lámina basal y sobre la hipodermis. Se halla formada por fibras reticulares, fibroblastos y fibras de colágeno tipo I y II. Mas del 90 % de su estructura los conforman las fibras de colágeno (**Peña, 2007**). Esta es la capa estructural de la piel animal que a la industria curtiembre le interesa, debido a que el resto de las estructuras de la piel únicamente complican el proceso de elaboración de cuero.

1.1.3.2. Función de la piel

Al tratarse de una barrera natural entre el organismo del animal y el medio exterior, la piel brinda protección frente a los agentes químicos y microbiológicos (**Costa et al., 2006**). Pero además tiene otras funciones como (**Barioglio, 2001**):

- Regulación de la temperatura corporal
- Eliminación de residuos del cuerpo tales como sales, agua, ácido úrico.

- Síntesis de vitamina D
- Sensación (tacto, dolor, presión, vibración y temperatura)
- Protección de los órganos internos frente a daños mecánicos y físicos.

1.1.3.3. Tipos de pieles

Existen diferentes diversos tipos de pieles de animales, con diferentes porcentajes en la capa superior denominada "flor" y la capa inferior denominada "carne". Además, la estructura del colágeno en las distintas pieles varía con la edad, origen y tipo de alimentación de cada animal y también entre especies de animales, por lo que los curtidores comparten sus experiencias diciendo que no existen dos pieles exactamente iguales (Salguero, 2018). Se describen a continuación, los tipos de pieles de animales más importantes para la industria del cuero:

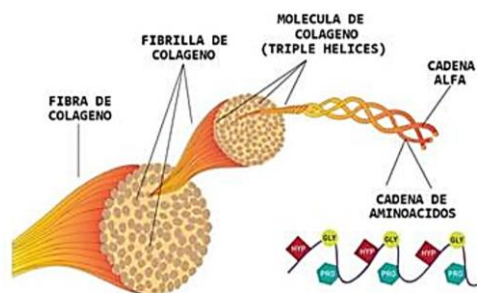
- **Piel de vaca:** Este tipo de cuero es el más usado por las curtiembres debido a su calidad superior debido a su gran tamaño y naturaleza muy compacta. Además, el cuero presenta cierta dureza y flexibilidad, que le brinda al cuero terminado mucha resistencia y blandura en la parte llamada flor. Generalmente, la carnaza de este tipo de cuero es mucho mayor que la piel de otros animales y se suele utilizar para fabricar zapatos (Luna, 2014).
- **Piel de cabra:** este cuero se caracteriza por ser más delgado que el cuero de vaca y tiene una estructura mucho más densa y elevada presencia de fibras elásticas, lo que permite que manufacturar productos resistentes a partir de este tipo de pieles. Este tipo de piel es muy utilizada para fabricación de productos de marroquinería (Baretto, 2006).
- **Piel de oveja:** Es importante señalar que las pieles de oveja son muy finas y flexibles, por lo que sus buenas propiedades están relacionadas con la suavidad, pero no son muy resistentes para la fabricación de productos de calzado como. Generalmente se utiliza para obtener prendas de vestir como chaquetas o guantes (Luna, 2014).

1.1.4. Colágeno

Se trata de una proteína fibrosa, de las más abundantes en todo el Reino Animal (Shoulders & Raines, 2009), conformado por tres cadenas alfa triples (figura 2) en forma helicoidal (cada cadena alfa tiene 1014 aminoácidos), de las cuales los aminoácidos que componen el colágeno son: la prolina, la hidroxiprolina y la glicina, esta última representando el 33% de la estructura. De los 28 tipos de colágeno, el más común es el colágeno tipo I, que se encuentra en la piel, los órganos, los tendones, los dientes, los huesos y más (Muiznieks & Keeley, 2013).

Figura 2.

Estructura de colágeno



Fuente: (Cobeña et al., 2022)

Este se obtiene principalmente del ganado y que, al hidrolizarse, produce colágeno hidrolizado, que consiste en pequeños péptidos de 3 a 6 kDa, impidiendo la capacidad gelificante de este colágeno (Cobeña et al., 2022).

1.1.5. Proceso de curtición del cuero

El curtido de cuero se lleva a cabo a través de dos métodos, el primero usa sales de cromo y el segundo a base de agentes vegetales. Hay que destacar que el 80% de industrias curtiembres se basan en el uso de sales de cromo para sus procesos de curtido (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012). En el proceso de curtido tanto con

sales de cromo y como con agente vegetales se llevan a cabo las etapas que muestran en la figura 3:

Figura 3.

Flujograma del proceso de curtido de cuero

Descripción	Piel Cruda	Remojo	Pelambre	Calero	Descarnado	
	Recepción y adecuación de la piel fresca.	Humectación. Eliminación de suciedades y sust. proteicas	Eliminación de epidermis y pelo. Hinchamiento del colágeno.	Exposición a sust. alcalinas Ataque químico a grasa y proteína.	Eliminación de pelo y de epidermis remanentes	
	Curtido	Desencalado	Piquelado	Curtido	Ecurrido	Dividido
		Deshinchamiento y control del pH. Eliminación de la Cal.	Disminuir pH para curtido empleando sales y ácidos.	Estabilización de las proteínas de la piel usando sales metálicas.	Reducir de la humedad y eliminación de las sales.	Corte de la piel para separar la parte interna de la exterior.
	Recurtido	Rebajado	Neutralizado	Recurtido	Teñido	Engrase
Desbaste de la piel hasta darle el espesor deseado.		Eliminación de los ácidos libres formados, bajando el pH.	Nuevo curtido para otorgar mayor suavidad y consistencia.	Otorgamiento del color deseado para el cuero.	Aplicación de grasa para volver el cuero suave y flexible.	
Acabado	Secado	Acondicionado	Ablandado	Otras	Expedición	
	Eliminación controlada del agua absorbida durante el teñido.	Homogenización de la humedad según el tipo de producto.	Rotura de la adhesión de las fibras, dándoles flexibilidad.	Secado recorte, clasificación, esmerilado, semporado.	Medición de área superficial, control de calidad y empaque.	

Fuente: (Velásquez et al., 2015)

Etapa de curtido: El colágeno presente en la piel es estabilizado por acción del cromo trivalente en un medio ácido, convirtiendo la piel cruda en cuero. Este procedimiento se lleva a cabo en una máquina llamada divisora y tiene una duración de 8 a 24 horas. Previo a este paso, la piel debe hallarse escurrida, con una cantidad muy baja de humedad (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012**).

Etapa de recurtido: Durante esta etapa también se realiza un proceso mecánico para conseguir un grosor específico y homogéneo, conocido como rebajado o desbaste del cuero; y un segundo proceso de post-curtición que incluye el neutralizado, recorrido,

teñido y engrasado del cuero. En esta etapa se generan grandes cantidades de virutas de cuero wet blue (**Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012**).

1.1.6. Impacto ambiental de la industria curtiembre

La industria curtiembre produce una ingente cantidad de efluentes líquidos y residuos sólidos en todas las etapas de curtición que tiene un impacto negativo sobre el ambiente. Esto convierte a las curtiembres en una de las diez industrias más contaminantes del mundo. Recientemente, el número de curtiembres medianas y pequeñas ha aumentado en muchos países debido a la ausencia de responsabilidad social y corporativa (RSC) (**Verma et al., 2019**) y por la negligente gestión ambiental de sus desperdicios, son una amenaza para el planeta y sus recursos.

1.1.6.1. Efluentes líquidos producidos por la industria del cuero

El proceso de curtido de pieles requiere de 50 a 150 litros de agua para tratar cada mil cueros y genera de 30.000 a 50.000 litros de aguas residuales por día, el caudal puede variar dependiendo la curtiembre (**Shaikh et al., 2017**). En cada etapa del proceso de curtido del cuero, se producen contaminantes tanto de agua ácida como de agua base debido al tipo de productos químicos utilizados en el proceso de curtido, como cloruro de sodio, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, sulfato de amonio, amoníaco e hipoclorito de sodio (**Kumari et al., 2016**). Concentraciones altas de estos compuestos indican la elevada toxicidad de efluentes líquidos de las curtidurías (**Dhiman & Mukkherjee, 2021**).

1.1.6.2. Residuos sólidos producidos por la industria del cuero

Los residuos sólidos se producen por el tratamiento de las pieles en bruto con productos químicos como cal, sulfuros, sales, amonio, cromo, entre otros. Para producir 150-200 kg de cuero terminado, se necesitan aproximadamente 1000 kg de

cuero salado y se producen 600-850 kg de residuos sólidos (**Shaikh et al., 2017**) en forma de carnazas, pelo, piel, grasa, polvos de lijado y wet-blue. El pelo como residuo se produce durante la etapa de pelambre, las carnazas provienen del proceso de descarnado del cuero crudo, los restos de piel con alto contenido de agua, proteína y grasas se producen durante el dividido de la piel. Las virutas de wet-blue, con alta concentración de cromo se producen durante la etapa de rebajado y los polvos de pulido, que presenta material volátil con presencia de cromo, durante el acabado del cuero. Todos estos recursos de desecho terminan en el suelo y el agua contaminándolos (**Dhiman & Mukkherjee, 2021**).

1.1.7. Virutas de cromo o wet blue

Este es un desecho sólido curtido con sulfato de cromo que presenta alta humedad, resultante de un proceso de rebajado del cuero, que produce aproximadamente 125 kg por tonelada de cuero procesado, o casi el 30% de la cantidad total de desechos sólidos producidos (**Parisi et al., 2021**). La toxicidad del wet-blue se debe a la presencia de cromo, que se une a las moléculas de colágeno, una sustancia que puede impedir la síntesis de enzimas y ácidos nucleicos en los organismos vivos y muta las células humanas pudiendo causar cáncer, pero además el pH ácido de estos residuos dañan la microbiota del suelo (Pahlawan et al., 2019).

1.1.8. Manejo de residuos de wet blue

Hay varias formas de manejar las virutas de wet blue, estas incluyen el uso directo como absorbente eficiente en la eliminación de metales pesados tales como el cromo (Cr), o empleado como relleno para polímeros compuestos, incluso para reforzarlos (**Chabaane et al., 2011**). De igual forma, como se muestran a continuación, dependiendo de los tratamientos específicos a los que se someta el wet blue, las propiedades de estos residuos (cuero y colágeno) también pueden aprovecharse para la obtención de nuevos productos (**Parisi et al., 2021**). Uno de los principales tratamientos y más aplicados, se describen a continuación:

1.1.8.1. Tratamiento químico y/o enzimático

Es el procedimiento que separa y elimina el cromo presente en las virutas de cuero. El descromado es un proceso que puede realizarse por hidrólisis, ya sea en medio ácido o básico, o por enzimas (**Parisi et al., 2021**). Como resultado, se produce un precipitado de cromo, que se puede utilizar de varias formas, incluso como sal en el proceso de curtido, mediante una reacción del colágeno hidrolizado (HC) y su combinación con ácido sulfúrico (**Kokkinos & Zouboulis, 2019**).

1.1.9. Usos del colágeno hidrolizado

El colágeno hidrolizado es ampliamente usado en el campo de la restauración, actuando como adhesivos, aglutinantes, revestimientos y consolidantes para materiales orgánicos e inorgánicos (**Ntasi et al., 2022**). Son necesarios en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, así como en la ingeniería de tejidos como andamios, debido a sus capacidades de formación de geles, así como a sus propiedades superficiales (adhesión y cohesión) e hidratación. Otro uso, lo encontramos en el ámbito de la biomedicina. Se reporta la síntesis de un bioadhesivo formado por nanocompuestos híbridos de base acuosa basados en monómeros acrílicos y colágeno totalmente hidrolizado (**Luque et al., 2020**). Así también, **Zhou et al., (2017)**, informa, de la producción a bajo de un pegamento a bajo costo destinado a la industria de la madera usando colágeno presente en desechos de cuero como material de inicio.

1.1.10. Pegamentos

El conocimiento sobre los pegamentos o adhesivos, data desde la antigüedad y su uso ha sido extenso a lo largo de la historia hasta nuestros días. Se define como pegamento a aquella sustancia que la ser aplicadas sobre las superficies de dos sustratos proporciona una unión que resiste la separación. Se definen como sustrato a los materiales que por mediación del pegamento se pretende unir (**Wegmanand & Van Twisk, 2012**). En general, la adhesión es un conjunto de fuerzas que mantienen unidas dos superficies diferentes cuando se aplica una fuerza mecánica externa y es la

condición en la que los enlaces interfaciales mantienen unidas dos superficies (**Abbey & Zalucha, 2017**).

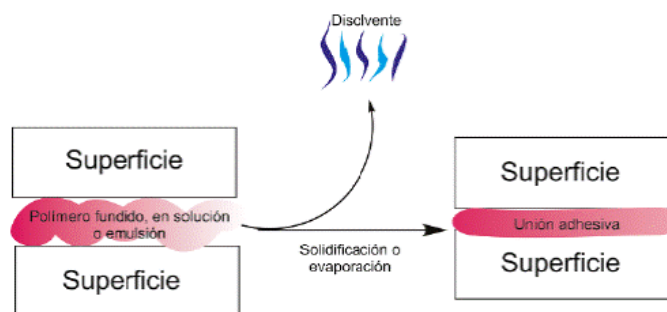
Dado que existen tantos pegamentos, todos con diferentes orígenes y naturalezas, existen numerosos métodos para clasificarlos, pero se pueden agruparlos en adhesivos reactivos o no reactivos.

Adhesivos reactivos: son aquellos que están formados por macromoléculas o polímeros, generalmente en estado líquido que se aplican directamente sobre la superficie a unir o formar una reacción de polimerización *in situ* (**Caldera & Herrera, 2019**). Este tipo de pegamentos, la adhesión ocurre producto una reacción química por la formación de nuevos enlaces permanentes entre las superficies que protegen frentes al ataque químico, humedad y calor (**Prane, 1979**).

Adhesivos no reactivos: se caracterizan por que la unión se ocurre mediante fuerza intermoleculares y están constituidos por polímeros termoplásticos que se encuentran en estado sólido, en solución o emulsión. Cuando el disolvente se evapora, el polímero se solidifica, dando lugar a la adhesión (Figura 4). Dado que este tipo de adhesivo no forma nuevos enlaces, el fenómeno de adhesión es causado por la creación de fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímeros del adhesivo (**Caldera & Herrera, 2019**).

Figura 4.

Formación de la unión adhesiva a través de un adhesivo sin reacción química



Fuente: (Caldera & Herrera, 2019)

En este sentido, si bien el colágeno es una molécula con propiedades adhesivas debido a su estructura, se le considera como un adhesivo no reactivo. Los grupos amida, ácido

carboxílico, amina e hidroxilo que conforman la estructura de la proteína establecen puentes de hidrogeno que contribuyen a la adhesión (**Hernández et al., 2015**). Por tanto, el colágeno hidrolizado se ha utilizado en la formulación de pegamentos y adhesivos (**León et al., 2019**), en los que actúa como un componente adhesivo no reactivo, ya que no participa en reacciones químicas específicas durante el proceso de unión, pero proporciona propiedades adhesivas basadas en su capacidad de humectar y formar puentes de hidrogeno con ciertos sustratos (**Caldera & Herrera, 2019**).

1.2.Objetivo

1.2.1. Objetivo general

Optimizar la composición química de un pegamento a base a colágeno hidrolizado proveniente de residuos de wet blue de la industria del cuero.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones óptimas de colágeno hidrolizado, alcohol polivinílico y acetato de polivinilo para la formulación de un pegamento funcional.
- Cuantificar el tiempo de secado, pH, grado de polimerización y capacidad adhesiva de las emulsiones de pegamento.
- Optimizar la composición del pegamento, mediante un diseño experimental de superficie.
- Establecer la influencia del proceso de curado sobre las propiedades adhesivas de los mejores pegamentos mediante análisis reológico, calorimetría diferencial de barrido y prueba estándar para resistencia al pelado.

1.3.Hipótesis

1.3.1. Hipótesis nula

Formulaciones de pegamentos con concentraciones elevadas de colágeno hidrolizado no presentan mayor capacidad de adherencia.

1.3.2. Hipótesis alternativa

Formulaciones de pegamentos con concentraciones elevadas de colágeno hidrolizado presentan mayor capacidad de adherencia.

**CAPÍTULO 2:
METODOLOGÍA**

2.1 Metodología

2.1.1 Recursos materiales

Tabla 1.

Reactivos de laboratorio

Compuesto	Descripción	Cantidad
Hidrolizado de colágeno	Bovino	1 kg
Glicerina líquida	Grado USP. CREMER. Laboratorios Cevallos, Ecuador.	1 L
Alcohol polivinílico	88%. Ronas Chemicals IND. Laboratorios Cevallos, Ecuador.	1kg
Resina acrílica	Sintacril A-293	2,5 kg
Acetato de polivinilo	Ferrisariato. Cola Blanca	1 kg
Biocida	Procide BC 800 40H. Produtecnica, Ecuador.	200 ml
Cemento de contacto	Africano ® Adheplast	100 ml

Tabla 2.

Equipos de laboratorio

Equipo	Detalle	Cantidad
Incubadora	Klab incubator IN-10	1
Agitador mecánico vertical	THOMAS R010	1
pH metro	ACCUMET AB200	1
Plancha de calentamiento	VELP AM4	1
Balanza digital	OHAUS V71P30	1

Equipo	Detalle	Cantidad
Balanza analítica	Radwag N1BM1F	1
Espectroscopio	FT-IR PerkinElmer	1
Colorímetro	Lovibond LC 100	1
Calorímetro	Calorímetro idferencial de barrido (DSC) Mettlet Toledo	1
Viscosímetro	Viscosímetro rotacional QUIMIS	1
Equipo de ensayo universal	Tinius Olsen H5KS	1

Tabla 3.

Insumos de laboratorio

Detalle	Cantidad
Paquete de tiras de pH	1
Varillas de agitación	1
Termómetro	1
Vaso de precipitación de 200 mL	3
Vaso de precipitación de 250 mL	3
Lamina de vidrio	9
Espátulas	2
Estilete	1
Rotulador permanente	1
Botellas de vidrio de 300 mL	5
Paquete film plástico	1
Envases de vidrio de 200 ml	27

2.2 Métodos

2.2.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, utilizándose como objeto de estudio el colágeno hidrolizado obtenido de los residuos sólidos “wet blue” provenientes de la industria de la curtiembre.

2.2.2 Localización

Este proyecto se realizó en los laboratorios de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE y Canje de Deuda, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi, ubicada en la ciudad de Ambato. También se realizaron ensayos en el laboratorio de control calidad de Curtiduría Tungurahua S.A.

2.2.3 Obtención de materia prima

El colágeno hidrolizado es la materia prima para la elaboración de pegamento, misma que fue suministrado por el equipo de trabajo del proyecto de investigación “Reciclaje de las virutas residuales de wet-blue de una curtiembre de Ambato para la producción de un bioplástico” a cargo de la PhD. Nelly Flores, el mismo que se llevó a cabo en el laboratorio UODIDE de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2.4 Obtención de colágeno hidrolizado a partir de wet blue

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. Se obtuvo colágeno siguiendo el proceso descrito por **Shaikh et al., (2017)**, agregando ciertas modificaciones. Se sometió el wet blue a una hidrólisis básica, usando óxido de magnesio (MgO) al 6%, en una relación 1:10 de virutas secas de wet blue y agua respectivamente, a 70°C durante 5 horas con agitación continua de 100 rpm.

2.2.5 Preparación de la solución acuosa de colágeno hidrolizado al 30%

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. En un vaso de precipitación se colocó 20 g de colágeno hidrolizado y 100 ml de agua destilada, el cual se calentó y con ayuda de agitación se disolvió completamente el colágeno. Se mantuvo una temperatura entre 60 °C a 70 °C durante el proceso, para evitar desnaturalizar el colágeno o que la mezcla se quemara. Se agitó hasta comprobar que el colágeno se disolvió completamente (Shaikh et al., 2017).

La concentración de gelatina seca para preparar la respectiva solución se determinó realizando una prueba de saturación de gelatina sobre agua, estableciendo que el punto máximo de cantidad de gelatina a disolver es 20 g de colágeno seco en 50 ml de agua.

2.2.6 Preparación de la solución acuosa de alcohol polivinílico (PVA)

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. Se hidrató 10 g de alcohol polivinílico (PVA) con 30 ml de agua destilada. Una vez hidratado el PVA se sometió a calentamiento y agitación. Se mantuvo una temperatura máxima de 80°C durante el proceso de preparación y con ayuda de un agitador vertical a 10 000 rpm se agitó la mezcla de PVA hasta que se disolvió completamente (Shaikh et al., 2017).

2.2.7 Preparación de las mezclas de pegamentos

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. Se prepararon aproximadamente 100 g de emulsiones de pegamentos, conformado por solución de colágeno hidrolizado, acetato de polivinilo, 6% alcohol polivinílico, resina acrílica al 50% y glicerina al 3% en volumen en todas las mezclas.

Se describe, a continuación, la preparación de una de las formulaciones de pegamento. Se inició calentando 20 g de la solución de colágeno hidrolizado, seguidamente se agregó 6 g de la solución de alcohol polivinílico y 50 g de resina acrílica e inmediatamente se procedió a agitar la mezcla y mantenerlo en agitación por una hora a una temperatura constante de entre 60 a 70°C y a 1000 rpm. Hay que recalcar que la temperatura durante todo el proceso excedió los 70°C. Luego se añadió 3 ml de glicerina durante el proceso de agitación. Una vez transcurrida una hora de agitación, se colocó 10 g de acetato de polivinilo y se agitó durante 2 horas más. Finalmente, se procedió a colocar en frasco de vidrio y etiquetar la mezcla preparada y se añadió dos gotas de biocida etileno-bis-ditiocarbamato de sodio, el cual es considerado como un efectivo fungicida y bactericida de uso industrial. Por último, se guardó la mezcla preparada a temperatura ambiente y bajo sombra (Shaikh et al., 2017; Castro & Herreño, 2020). Se repitió cada emulsión 3 veces para determinar la reproducibilidad de cada proceso. A continuación, se muestra los tratamientos del presente proyecto de investigación:

Tabla 4.

Formulaciones del pegamento

Formulación	Colágeno hidrolizado (g)	Acetato de polivinilo (g)	Alcohol polivinílico (g)	Resina acrílica (g)	Glicerina (g)
Y0R1	20	16	6	50	3
Y0R2	30	8	6	50	3
Y0R3	40	4	6	50	3
Y1R1	20	8	6	50	3
Y1R2	30	4	6	50	3
Y1R3	40	16	6	50	3
Y2R1	20	4	6	50	3
Y2R2	30	16	6	50	3
Y2R3	40	8	6	50	3

Nota. El peso final de cada formulación se halló en torno a los 110 g.

2.2.8 Medición del pH de la mezcla de pegamento

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. Para la medición del pH de las emulsiones de pegamento se emplearon tiras de pH. Se sumergió la tira de pH en la emulsión preparada por no más de cinco segundos y luego se comprobó si existieron cambio de color en esta. Al momento de medir el pH con tiras se comparó el color desarrollado con la escala provista por el fabricante, esto permitió determinar cuánto de ácido o básico es el pegamento en función de los colores que aparecerán en la tira (**Beretta et al., 2015**).

2.2.9 Medición del grado de polimerización de la mezcla por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de Canje de Deuda de la UODIDE. Usando esta técnica es posible analizar la estructura molecular de las mezclas de pegamento obtenidas, tanto a nivel de laboratorio como industrial.

Con ayuda de una jeringa se tomó 5 ml del pegamento preparado y se colocará cuidadosamente sobre el cristal de selenuro de zinc (accesorio de reflexión total atenuada o accesorio ATR) del Espectrómetro para su medición. Los espectros en los que se registraron están en el rango de $500-4000\text{ cm}^{-1}$, realizándose 10 barridos (**Abreu, 2017**).

2.2.10 Medición del secado del pegamento

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. Este parámetro se midió bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1774. Para esto se debió usar una espátula metálica y una lámina de vidrio (20 x 25 cm) limpia y seca, en la cual se colocaron dos gotas de la emulsión preparada. A continuación, se extendieron las muestras en el vidrio ejerciendo presión

y rapidez con la espátula para proporcionar uniformidad a las muestras (**Amaya, 2014**).

2.2.11 Método de prueba estándar para evaluar la adherencia con cuchillo

La adherencia se evaluará bajo la norma ASTM D6677-18. Este método de prueba sirve para evaluar la adhesión de las películas de recubrimiento al sustrato usando un cuchillo (**ASTM, 2018b**).

Sobre un área libre de manchas e imperfecciones superficiales de tiras de cueros vacuno se aplicó con espátula una cantidad suficiente de pegamento que cubra el área seleccionada. Luego, se procedió a medir el espesor de la película seca de pegamento en el lugar donde se realizará la evaluación de la adhesión o cerca del mismo. Con la ayuda de un cuchillo afilado y una guía de corte, se realizó dos cortes en el revestimiento con un ángulo de 30 a 45° entre las patas y hacia abajo hasta el sustrato que se cruza para formar una “X”. Se revisó que cada pata del ángulo tenga un mínimo de 38,1 mm de largo. Se empleó la punta del cuchillo y comenzando en el vértice del ángulo, se intentó levantar el revestimiento del sustrato o del revestimiento de abajo. Se repitió la prueba en otros dos lugares de las tiras de cuero. Después de realizar varios cortes, se examinó el filo y, de ser necesario, se reemplazó la cuchilla (**ASTM, 2018b**). Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE.

2.2.12 Método de prueba estándar para resistencia al pelado de adhesivos

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad de la Curtiembre Tungurahua S.A. Este método se ejecutará bajo la norma ASDTM-D1876 y usando una máquina de tracción, capaz de aplicar una carga, equipada con mordazas adecuadas capaces de sujetar las muestras firmemente y sin deslizamiento durante los ensayos (**ASTM, 2012**).

Se requirió de paneles de prueba laminados que consistió en dos adherentes flexibles adecuadamente preparados y unidos con el pegamento. En nuestro caso los paneles son cueros de origen vacuno; para conseguir estos paneles se procedió cortando los paneles adheridos en especímenes de prueba de 25 mm de ancho por 241 mm de largo de una manera que no perjudique la unión. Los extremos no adheridos de 76 mm de largo se doblaron, perpendiculares a la línea de pegamento, para sujetarlos eventualmente en las mordazas de la máquina de prueba. Se probaron 5 especímenes para cada adhesivo (ASTM, 2012).

Se inició sujetando los extremos doblados y no adheridos de la muestra a las mordazas de la máquina de prueba. Se aplicó la carga a una velocidad de cabeza constante de 254 mm (10 pulg) /min. Durante la prueba de pelado, se realizó un registro autográfico de la carga frente al movimiento de la cabeza o la carga frente a la distancia pelada. Luego, se determinó la resistencia al desprendimiento en al menos 127 mm (5 pulgadas) de longitud de la línea de unión después del pico inicial. Al final, se determinó a partir de la curva autográfica para los primeros 127 mm (5 pulgadas) de desprendimiento después del pico inicial, la carga promedio de desprendimiento en libras por pulgada del ancho del espécimen requerida para separar los adherentes. (ASTM, 2012).

Finalizado esta sección de pruebas y mediciones, se compararon los resultados de la prueba de adherencia con el fin de elegir la formulación de pegamento que presenta mayor adherencia. Culminado este punto, se preparó más muestra del tratamiento con mayor adherencia para realizar las consecuentes caracterizaciones siguiendo la metodología del apartado 4.6.

2.2.13 Método de prueba estándar para viscosidad aparente de adhesivos con propiedades de fluidez dependientes de la velocidad de corte

La norma ASTM D2556-93a se utiliza para medir la viscosidad aparente de adhesivos bajo diferentes condiciones de corte. El aparato que se usará para la medición de

viscosidad es un viscosímetro rotacional Brookfield que deberá disponer de accesorios como husillo, disco, barra en T o cilindro adecuados. Estos accesorios constituyen el elemento giratorio del viscosímetro. El aparato se hallará sobre un soporte adecuado que permita ser bajado o subido de forma manual o mecánica. También contara con termómetro de precisión para medir la temperatura. En cuanto a las condiciones de la muestra de pegamento, se usará un baño de agua caliente que mantenga el adhesivo a una temperatura de $50 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (ASTM, 2018a).

Luego se procederá escogiendo un accesorio adecuado para el rango de viscosidad del pegamento de tal manera que la combinación de velocidad-elemento rotacional del viscosímetro brinde lecturas de cuadrante entre 20 y 80 % de la lectura de escala completa. Se ajustará el accesorio correspondiente en la extensión del eje que desciende por el centro de la carcasa del cuadrante. Luego se ubicará el viscosímetro en el soporte de tal forma que el accesorio se halle verticalmente. Se sumergirá el elemento giratorio en la muestra, asegurándose que no quede aire atrapado debajo o alrededor del accesorio (ASTM, 2018a).

Luego se procederá a arrancar el motor del viscosímetro a la velocidad de rotación más baja. Se mantendrá esa velocidad durante 1 min. Sin parar el motor, se deberá seguir aumentando la velocidad la siguiente rotación indicada, a intervalos de $1 \text{ min} \pm 2 \text{ s}$. Se repetirá este paso hasta llegar a la rotación máxima legible (ASTM, 2018a). Este procedimiento de llevará acabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE.

2.2.14 Medición de sólidos totales

La medición de sólidos totales de las emulsiones de pegamento se llevó a cabo en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente Canje de Deuda de la UODIDE y siguiendo los lineamientos de la Norma NTC 1774. Se inició pesando (p1) un trozo de papel aluminio de 30 cm x 12 cm y se colocó 0,5 g de muestra de pegamento y se pesó nuevamente (p2). Luego, doblando el papel se esparció de manera

uniforme sobre la superficie horizontal procurando no derramar la muestra. Se desdobló el papel y se introdujo en un horno de convección con circulación de aire por 30 minutos y a temperatura de 100°C. A continuación, se retiró el papel del horno del horno, se dobló y pesó (p3) (Amaya, 2014). Con los pesos registrados se procedió a calcular el porcentaje de sólidos totales usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ sólidos totales} = \frac{p3 - p1}{p2 - p1} * 100 = \frac{\text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra inicial}} * 100$$

2.2.15 Determinación del color

Estas caracterizaciones de ejecutaron en el laboratorio de investigación 1.4 Análisis de medio ambiente de la UODIDE. La determinación de color luminosidad, rojez y amarillez de los pegamentos elegidos se midió usando un colorímetro Lovibond LC 100. Se tomó al menos 10 medidas en varios lugares de la superficie del pegamento colocado en un vaso de precipitación (Núñez et al., 2013).

2.2.16 Análisis del curado del pegamento por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de Canje de Deuda de la UODIDE. El análisis de curado del pegamento requirió de una calibración inicial del flujo de calor del equipo. Esto implicará comparar el área de la curva de fusión experimental con la entalpia de fusión normalizada del indio (28,45 J/g). Para ello se colocó en una cápsula de aluminio una cantidad de entre 5 a 10 mg de litio, como referencia se usó otra capsula de aluminio vacía y se medirá su calor de fusión con el calorímetro (Ramis, 1993).

Luego se pesaron de 5 a 10 mg de pegamento en crisoles de aluminio tarados con anterioridad, para luego ser prensados junto a la muestra. Después se ubicó el crisol con muestra en el equipo Mettler Toledo DSC 3 y se realizó un barrido con una

velocidad de calentamiento de 10 °C/min. El barrido se llevó a cabo en un rango de temperaturas de 25 °C a 250 °C (Peñañiel, 2023).

2.2.17 Tipo de diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 3^2 que permite investigar de forma simultánea el efecto de dos factores sobre la variable de respuesta con la menor cantidad de experimentos. Los factores o variables independientes que se evaluaron son concentración de colágeno (Y) y concentración de acetato de polivinilo (R) frente a la variable de respuesta capacidad de adherencia. Cada factor presenta 3 niveles. A continuación, en la tabla 3 se encuentran los factores con sus respectivos niveles.

Tabla 5.

Factores y niveles del diseño experimental

Factores	Niveles
Y: Colágeno hidrolizado	20 g
	30 g
	40 g
R: Acetato de polivinilo	16 g
	8 g
	4 g

2.2.18 Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante análisis de varianza (ANOVA) y diseño de superficie para verificar estadísticamente la influencia de los factores colágeno hidrolizado (Y) y acetato de polivinilo (R) sobre la variable de respuesta y la correlación de las interacciones con una significancia del 95% ($p < 0,05$). El análisis ANOVA permitió también verificar estadísticamente si existen diferencias significativas entre los tratamientos (Maury, 2010), aplicando una prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Además, el gráfico de superficie respuesta,

permitió visualizar de manera gráfica las concentraciones adecuadas para obtener el mejor resultado en nuestra variable de respuesta. Para el análisis se usó el software estadístico Minitab.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación del pH y tiempo de secado de los pegamentos.

En la tabla 4 se observa los valores de los parámetros fisicoquímicos, pH y tiempo de secado de los nueve pegamentos y del control. Estas propiedades fisicoquímicas varían en gran forma según la composición del pegamento, el uso para el cual está destinado y definen la calidad de la unión adhesiva con el sustrato (Sedano et al., 2021). El valor de pH de los pegamentos formulados es 7, ubicándolos dentro del intervalo de 2,5 a 11 indicado por la American Specification para adhesivos de la madera. Valores de acidez o alcalinidad fuera de dicho rango suponen un peligro debido a la posible degradación del sustrato o del mismo adhesivo (Flores, 2016). Entonces, considerando el pH, los pegamentos desarrollados son adecuados para el uso, pues pegamentos comerciales usados ampliamente, como los poliuretanos base agua, presentan un pH entre 6 a 9 (Orgilés et al., 2019). Así mismo, el pegamento comercial Resistol 950 presenta un pH de 7,34 (Sedano et al., 2021).

Tabla 6.

pH y tiempo de secado de las formulaciones de pegamentos

Formulación	pH	Tiempo de secado (min)
HC20%	8	10,67 ± 0,76 ^{cde}
Y0R1	7	11,93 ± 0,15 ^{bc}
Y0R2	7	10,40 ± 0,5 ^{de}
Y0R3	7	8,93 ± 0,15 ^f
Y1R1	7	12,93 ± 0,21 ^{ab}
Y1R2	7	14,03 ± 0,40 ^a
Y1R3	7	11,43 ± 0,40 ^{cd}
Y2R1	7	12,97 ± 0,76 ^{ab}

Formulación	pH	Tiempo de secado (min)
Y2R2	7	10,53 ± 0,25 ^{de}
Y2R3	7	9,83 ± 0,67 ^{ef}

Nota. Los resultados en la columna de tiempo de secado representan el valor medio ± la desviación estándar. Se muestra las diferencias significativas en letras a, b, c y d. La HC20% es el control, y se trata de una solución de colágeno hidrolizado al 20%.

Por otro lado, el carácter neutro de los pegamentos desarrollados se debe, probablemente, a una neutralización ácido-base. Puesto que los elementos que componen el pegamento como el colágeno hidrolizado, acetato de polivinilo, alcohol polivinílico, glicerina y resina acrílica presentan pH de 8, 7 (**Roth Carl, 2016**), 4,6 (**Quimipur, 2016**), 9,5 (**Grupo Puma, 2017**) y 5,5 (**Acofarma, 2006**) respectivamente. Por tanto, la neutralización, ocurrió debido a que el acetato de polivinilo por su pH es una sustancia capaz de donar protones y aceptar electrones, mientras que la glicerina se caracteriza por donar de electrones y aceptar de electrones (**Anaguano & Loachamin, 2008**).

El tiempo de secado de un pegamento implica la evaporación de los disolventes de la capa de pegamento aplicada a un sustrato (**Rindler et al., 2019**). En la presente investigación el agua es el solvente, el cual diluye los monómeros que conforman el adhesivo facilitando su penetración sobre el sustrato (**Awad et al., 2019**). Como se muestra en la tabla 4, la prueba de Tukey indica que la formulación Y0R3, presenta el mejor proceso de secado, pero con una diferencia mínima en comparación la mayoría de las formulaciones. Esto ocurre debido a que el agua al ser el solvente y hallarse en todas las formulaciones de pegamento, se evapora en todos los tratamientos según indica **Toledo, (2014)**.

Factores como la temperatura y humedad relativa son críticos durante el tiempo de secado, normalmente se prefiere que los tiempos de secado sean cortos, pues a mayores temperaturas la pérdida de los solventes es más rápido (**Lai et al., 1985**). Mientras que a una humedad relativa mayor el secado de la película adhesiva ocurrirá en menor tiempo (**Toledo, 2014**). Por ejemplo, **Orgilés et al., (2019)** indica que el tiempo de

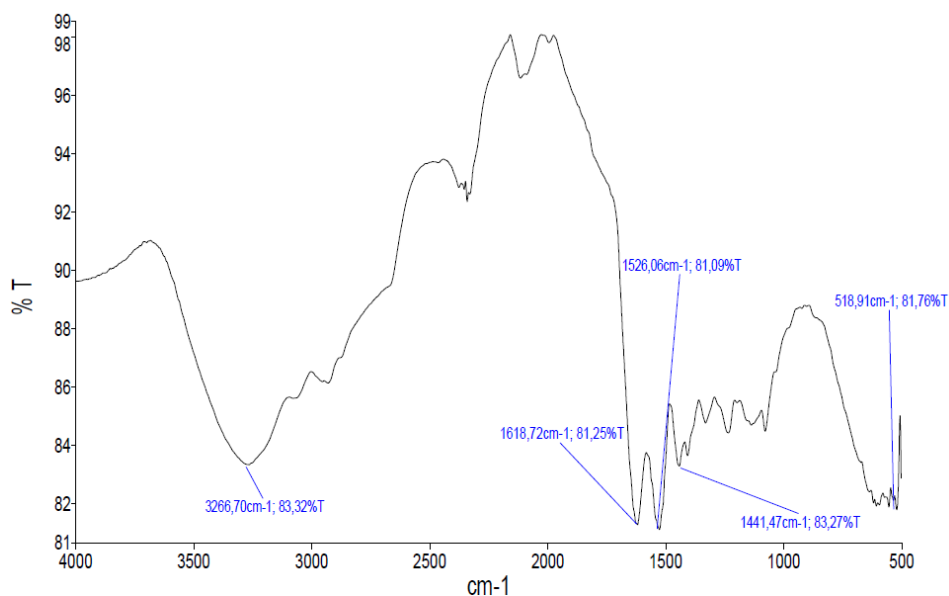
secado del pegamento de poliuretano base agua a una temperatura de 25 °C es de 30 minutos; mientras que a una temperatura entre 50 °C a 60 °C el secado ocurre en tan solo unos minutos.

3.2. Análisis por espectrofotometría infrarroja FT-IR

El espectro FTIR presenta dos zonas, la primera correspondiente a la zona evaluación y la segunda a la zona de huella digital. Los análisis FTIR generalmente se realizan en la zona de evaluación que abarca al intervalo entre 14000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} (Ramírez et al., 2019). Pero la presencia de picos en la zona de huella digital indica que no existe una alteración en la composición del reactivo o sustancia analizada (Khan et al., 2018).

Figura 5.

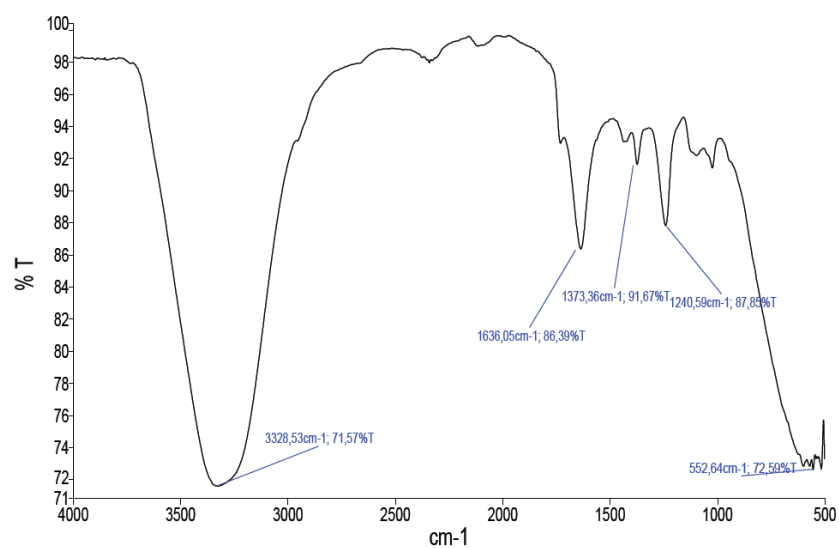
Espectro infrarrojo de colágeno hidrolizado seco



En la figura 5 se puede observar los picos de los grupos funcionales que caracterizan al colágeno puro usada en la formulación del pegamento. En el pico ubicado a una longitud de onda $3266,70 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra el grupo funcional O-H, en el pico a $1618,72 \text{ cm}^{-1}$ pertenece el grupo funcional correspondiente a las Amidas II, mientras que el pico a $1441,47 \text{ cm}^{-1}$ se asocia al grupo funcional CH_2 (Belbachir et al., 2009).

Figura 6.

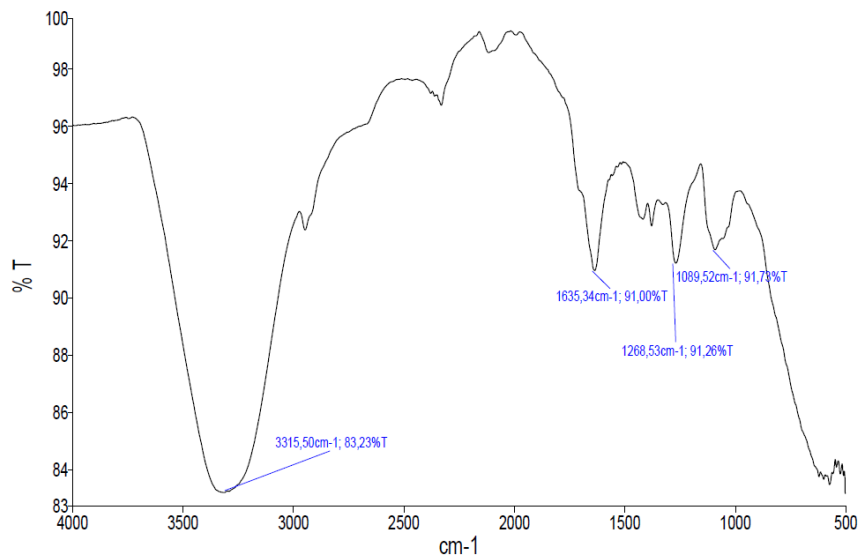
Espectro infrarrojo de acetato de polivinilo



En la figura 6, el espectro FTIR muestra los picos de los grupos funcionales que caracterizan al acetato de polivinilo usada en la formulación del pegamento. El espectro muestra que el pico a $3328,53\text{ cm}^{-1}$ está asociado con la vibración del O-H, mientras que en el pico 2 a 1240 cm^{-1} se halla el grupo funcional $-\text{CH}_3$ y $-\text{C}-(\text{C}=\text{O})-\text{C}-$ (Wei et al., 2012).

Figura 7.

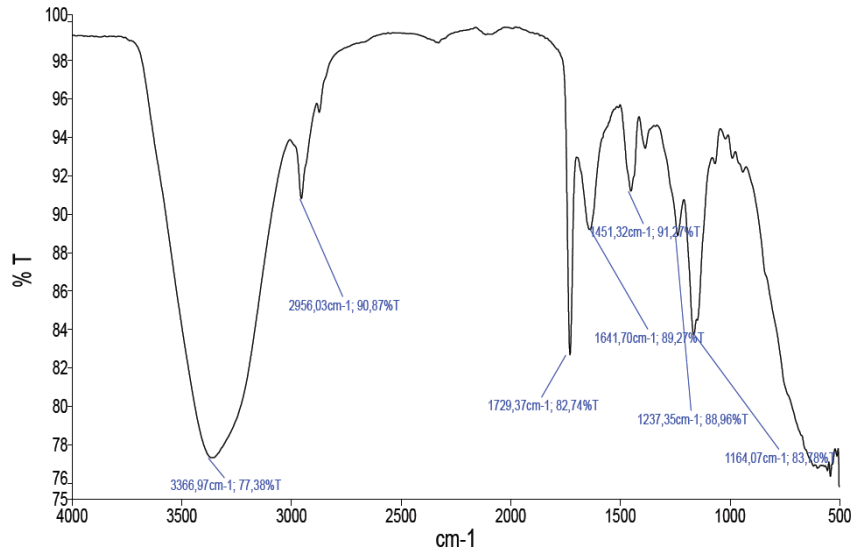
Espectro infrarrojo de alcohol polivinílico



En la figura 7, el espectro FTIR muestra los picos de los grupos funcionales que caracterizan al alcohol polivinílico usada en la formulación del pegamento. En el pico a $3315,50 \text{ cm}^{-1}$ se halla el grupo funcional OH, en el pico 2 a $1635,34 \text{ cm}^{-1}$ encuentra el grupo funcional C=O. Por último, a un numero de onda de $1089,52 \text{ cm}^{-1}$ se halla el grupo funcional C-O (Kharazmi et al., 2015).

Figura 8.

Espectros FT-IR de resina acrílica

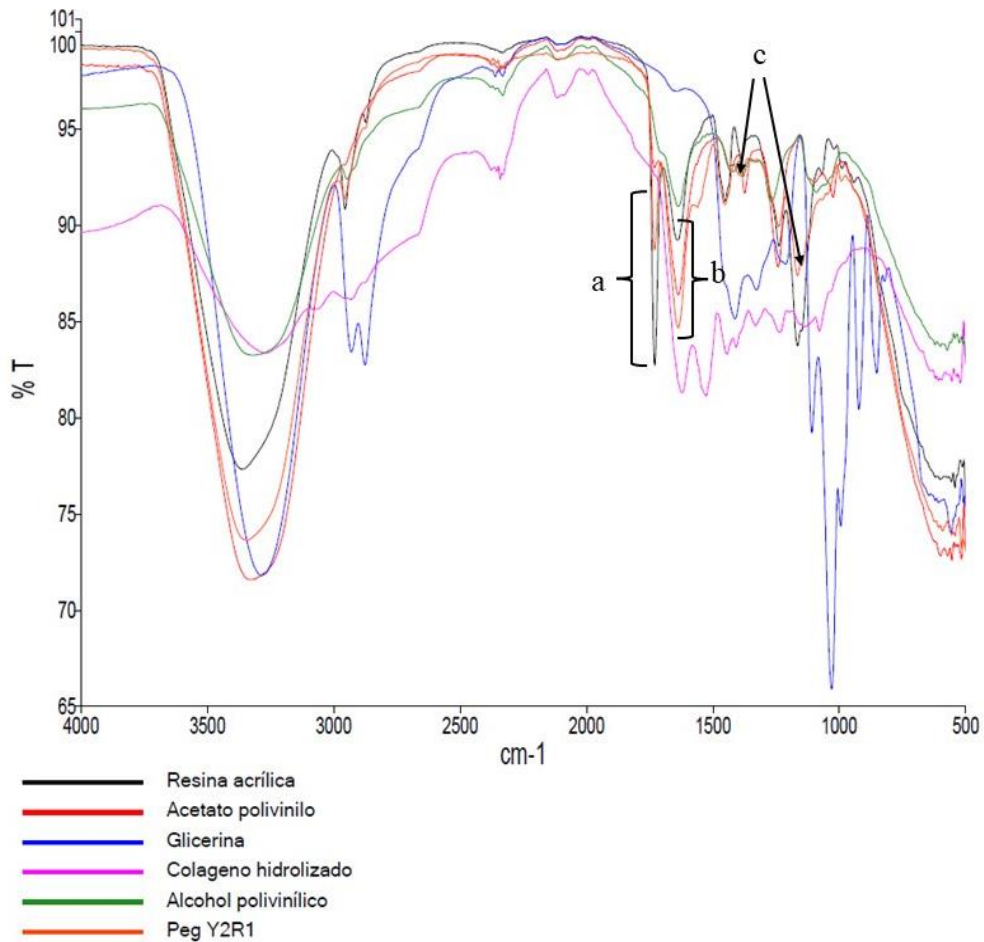


En la figura 8, el espectro FTIR muestra los picos de los grupos funcionales que caracterizan a la resina acrílica usada en la formulación del pegamento. A un número de onda de $3366,97\text{ cm}^{-1}$ se halla el espectro del grupo funcional OH mientras que el pico a $2956,03\text{ cm}^{-1}$ se debió a las vibraciones C-H. A un número de onda de $1729,37\text{ cm}^{-1}$ encuentra el grupo funcional carbonilo (C=O), mientras que el pico a $1641,70\text{ cm}^{-1}$ corresponde a un enlace C=C. A un número de onda de $1237,35\text{ cm}^{-1}$ se asignan a los modos de estiramiento C-O, mientras que el pico a $1164,07\text{ cm}^{-1}$ puede deberse vibraciones de estiramiento C-O-C (Saeed & Kassab, 2015).

Al comparar los espectros de los nueve tratamientos (Anexo H), se observa que existe solapamiento entre todos los espectros, que en este caso indicaría que los pegamentos son químicamente similares, por lo que presentan los picos de los mismos grupos funcionales.

Figura 9.

Espectros FT-IR de los componentes del pegamento y del pegamento



Nota. La letra a y b representan los picos ubicados en el mismo número de onda, pero con distinta intensidad. La letra c, indica los nuevos enlaces formados.

En la figura 9, se observa que los espectros de los componentes del pegamento y de uno de los pegamentos, son distintos entre sí, pues no existe solapamiento entre los seis espectros. Al comparar los espectros de los reactivos frente al espectro del pegamento, se observa la formación de nuevos picos (letra c) en el espectro del pegamento. Se aprecian, también, zonas donde un mismo pico tiene diferentes intensidades. Por ejemplo, el pico ubicado cerca de 1730 cm⁻¹ (letra a), está presente en la resina acrílica y en el pegamento, pero en diferentes intensidades. Así mismo, el

pico a 1640 cm^{-1} (letra b) se halla presente en el pegamento, acetato de polivinilo y resina acrílica, en diferentes intensidades.

Lo anteriormente descrito, sería indicativo de que ocurrió un proceso de polimerización de los componentes del pegamento, pues la aparición de nuevos picos, cambios en la posición o intensidad de los picos, en un espectro FTIR se correlaciona con la energía absorbida por una vibración molecular particular (Faghihzadeh et al., 2016).

3.3. Análisis de la adhesividad

Tabla 7.

Categorización de los diversos pegamentos según su adhesividad

Formulación	Clasificación
Y0R1	4
Y0R2	2
Y0R3	2
Y1R1	6
Y1R2	4
Y1R3	4
Y2R1	8
Y2R2	6
Y2R3	4

Nota. La clasificación del 0 al 10 se realizó mediante la evaluación de adhesión con cuchillo ASTM D6677 – 18. Los resultados muestran que, a mayor número mayor adhesividad.

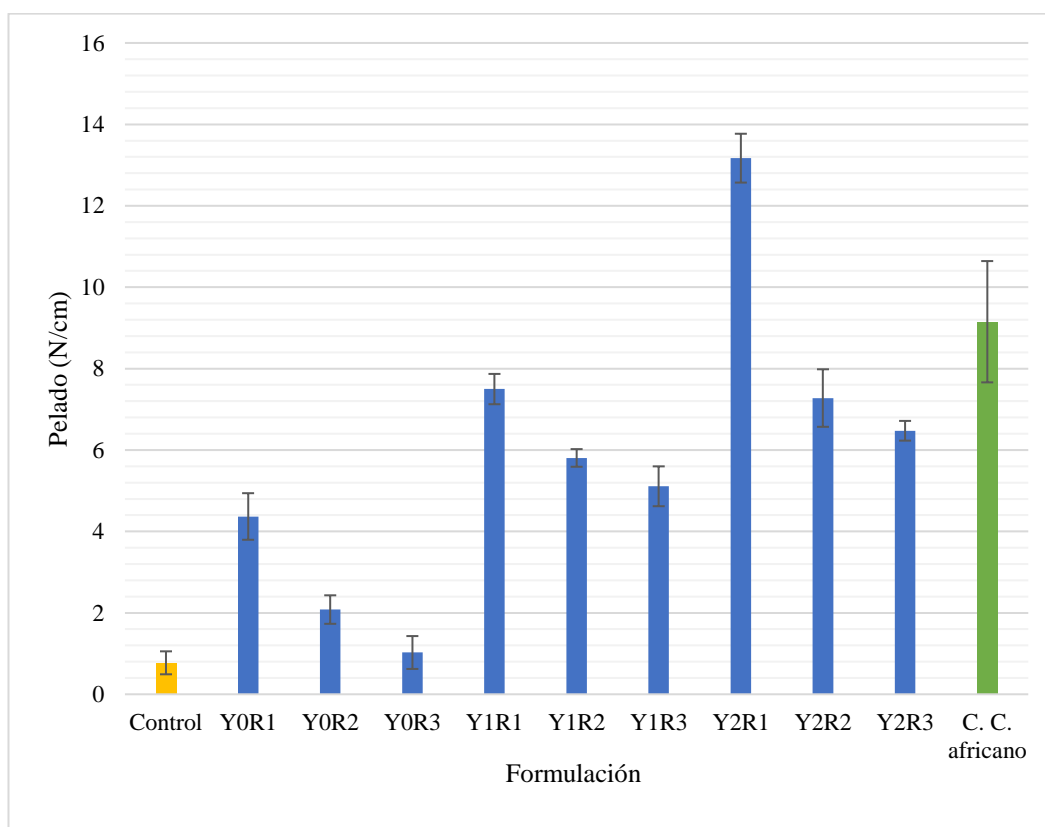
Diversos investigadores han reportado que el hidrolizado de colágeno obtenido de los desechos de la curtiduría tienen una potencial aplicabilidad en la formulación de adhesivos (Gebremariam et al., 2023; Shaikh et al., 2017). En este sentido, se ha evaluado 9 formulaciones por medio de dos métodos de prueba (Tabla 7 y Figura 10) mostrando que la formulación Y2R1 es la mejor. Los resultados del primer método

(ver tabla 7) indican una baja adherencia en casi todas las formulaciones, de hecho, esto es uno de los principales problemas de los adhesivos de base biológica comparados con los sintéticos (Heinrich, 2019). Cabe mencionar que la evaluación de adhesión con cuchillo es una clasificación cualitativa y subjetiva de los pegamentos, por lo que los resultados obtenidos van de acuerdo con el operador y al material evaluado (ASTM, 2018b).

3.4. Análisis de la formulación óptima

Figura 10.

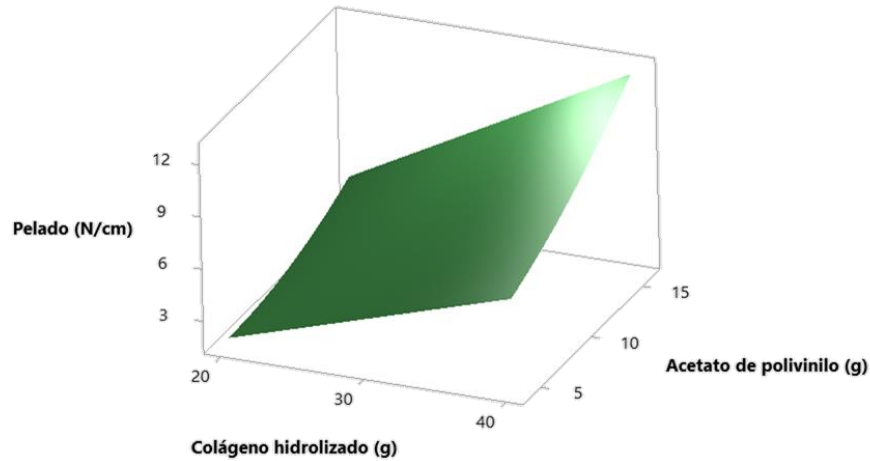
Prueba de pelado evaluado en las diferentes formulaciones



Nota. Prueba de pelado D 1876 – 01. El control es el colágeno hidrolizado. Mientras que C. C. africano es el cemento de contacto comercial.

Figura 11.

Gráfica de superficie



Nota. La gráfica se encontró por medio de la ecuación $R = -1.59 + 0.1822A - 0.442B + 0.01653B^2 + 0.01520AB$, donde A es el Acetato de polivinílico y B el Colágeno hidrolizado (Anexo J). Las concentraciones óptimas del colágeno hidrolizado y el acetato de polivinilo es de la formulación Y2R1.

Los adhesivos tienen condiciones específicas para el pegado (temperatura, humedad, superficie, etc.), además de los componentes de este para tener una gran efectividad y perdurabilidad con el paso del tiempo (parámetros no evaluados en la presente investigación) (Anderson & Macon, 2021). Por lo que, se puede esperar que una mayor capacidad de adhesividad no implica que se conservara en el tiempo. Un claro ejemplo de esto es el adhesivo comercial C. C. Africano ® evaluado, donde presentó un bajo resultado respecto al óptimo (Figura 10), y estudios como el de Poulis et al., (2022) demuestran que los pegamentos sintéticos conservan de mejor forma sus propiedades, independientemente de su capacidad de adhesión.

Las Figuras 10 y 11 representan la prueba del pelado, el cual permite evaluar la unión de dos materiales frente a un estrés producido por una tensión (o pelado) aplicada (Morris, 2017). Las gráficas indican que, a mayor concentración del colágeno hidrolizado y el acetato de polivinilo aumenta la adhesividad, destacando la formulación Y2R1 con 13,17 N/cm (o 1,31 N/mm). Este resultado es similar al

encontrado por (Shaikh et al., 2017) con una adhesión de 2,50 N/mm a 3,25 N/mm, sin embargo, son valores bajos comparados con algunos pegamentos sintéticos, como el Jade 403 que logra superar los 50 N/mm (Poulis et al., 2022).

Por otro lado, se destaca la formulación YOR3 por su baja adhesividad de 2,57 N/cm, donde según (Anderson & Macon, 2021) la poca fuerza de pegado que tiene el hidrolizado de colágeno es causado por el bajo peso molecular y presencia de abundantes grupos hidrofílicos. Es por esto necesario la adición de compuestos que permitan un aumento del peso molecular y la introducción o entrecruzamiento de grupos hidrofóbicos (León et al., 2019). Asimismo, llevar a cabo una hidrólisis de las virutas de cromo con enzimas que conserven la estructura del colágeno (Pahlawan et al., 2019).

3.5. Evaluación de los parámetros del adhesivo

Tabla 8.

Caracterización del pegamento óptimo

Parámetro	Resultado
Color	(L*) 96,73 ± 0,84
	(a*) -3,76 ± 0,52
	(b*) 2,25 ± 0,47
Sólidos totales (%)	45,94 ± 0.22
Viscosidad aparente η (mPa*s)	12386 ± 208,38

Nota. Los resultados representan el valor medio \pm la desviación estándar.

En la Tabla 8 se muestran los parámetros como color, sólidos totales y viscosidad que caracterizan al pegamento del presente proyecto de investigación. El color puede ser definido por 3 parámetros como luminosidad, matiz y croma (Ahn & Lee, 2008). L* posee un valor superior al 96%, lo que quiere decir que tiene una luminosidad alta, lo cual indica que la presencia de componentes como acetato de polivinilo, resina acrílica

y el componente principal como el colágeno hidrolizado ocasionan que el color del pegamento tienda al blanco (**Hasnul et al., 2021**). Por otro lado, los parámetros como a^* indica la tendencia de la escala a rojo-verde y b^* hacia amarillo-azul. Los resultados muestran que la tendencia del color es verde para a^* y amarillo para b^* . Al considerar los elementos que componen al pegamento se puede mencionar que el mismo está dado por la grasa y el cromo proveniente de las virutas cromadas. Este parámetro también es importante para determinar la calidad de un producto (**Mathias & Ah, 2014**).

Por su parte, los sólidos totales en un pegamento indican la cantidad de resina o agente adhesivo lo cual le provee de resistencia mecánica al pegamento (**Sedano et al., 2021**). Al presentar un porcentaje de sólidos totales de $45,94 \pm 0,22\%$, el pegamento que se desarrolló presenta características de un adhesivo poliuretano a base de agua (**Orgilés et al., 2019**). El resultado obtenido es comparable con un adhesivo acuoso de poliuretano desarrollado en Perú donde los sólidos totales fueron del 51% (**Castañeda Pérez et al., 2013**). Del mismo modo, el contenido de sólidos totales reportados por (**Sedano et al., 2021**) es similar con un 54,5 a 55%. Por consiguiente, se identifica que a mayor presencia de sólidos totales existe una mayor resistencia mecánica del pegamento (**Aftab et al., 2017**).

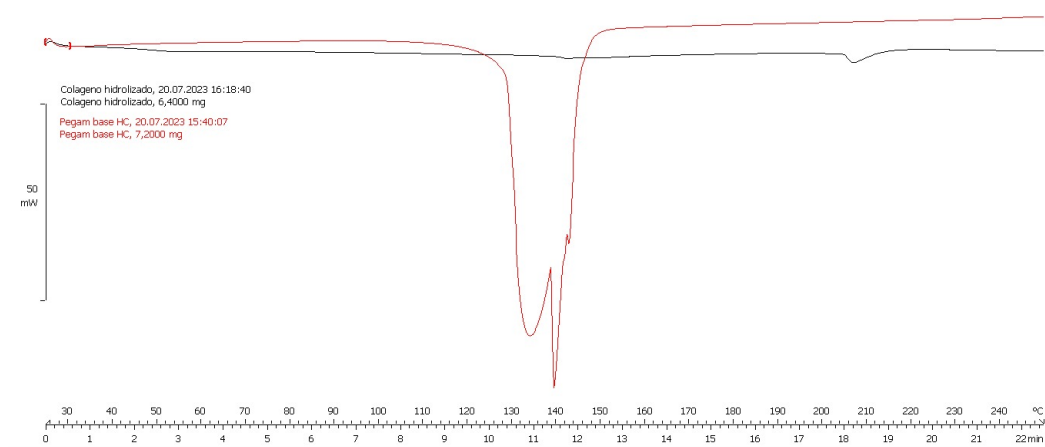
La viscosidad es un indicativo de la facilidad con la que un pegamento fluye sobre una superficie. El resultado obtenido fue de $12386 \pm 208,38$ mPa*s lo que indica que el pegamento es altamente viscoso, por lo tanto, se resiste a fluir fácilmente sobre una superficie (**Plotka et al., 2020**). Sin embargo, es necesario considerar que los adhesivos viscosos no son apropiados en superficies con estructuras geométricas con holgaduras de hasta 0,1 mm lo cual puede representar una dificultad al usarse en cualquier superficie (**Apmann et al., 2021**).

3.6. Análisis de calorimetría de barrido diferencial DSC del pegamento óptimo

Se realizó el análisis de calorimetría de barrido diferencial (DSC, por sus siglas en inglés) al Y2R1 puesto que fue el que presentó los mejores resultados.

Figura 12.

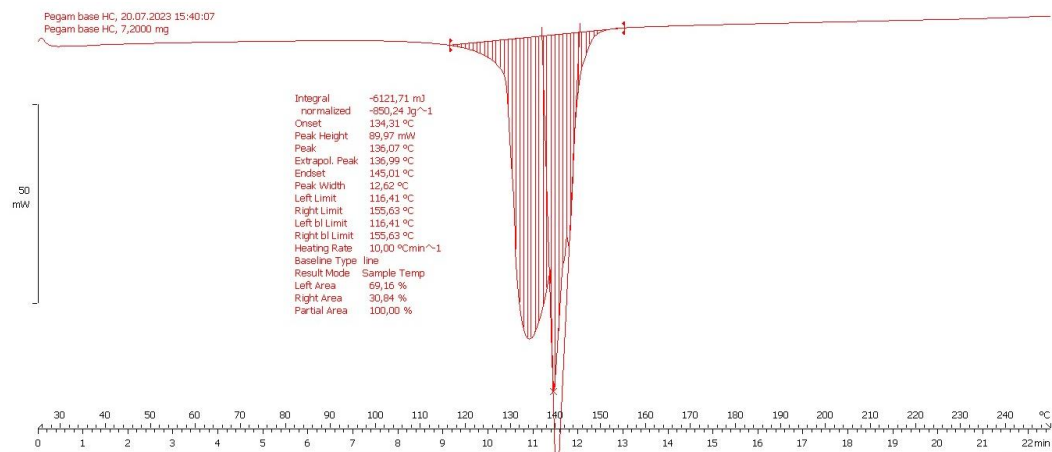
Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento y el colágeno



Este análisis fue sustancial para evaluar la estabilidad térmica y caracterizar el comportamiento o transiciones del pegamento cuando es calentado a velocidad constante en un intervalo de temperatura determinado (Zhang et al., 2021). Del mismo modo se realizó este análisis a la solución de colágeno inicial, es decir, sin la adición de ningún otro compuesto para contrastar los resultados obtenidos (Figura 12).

Figura 13.

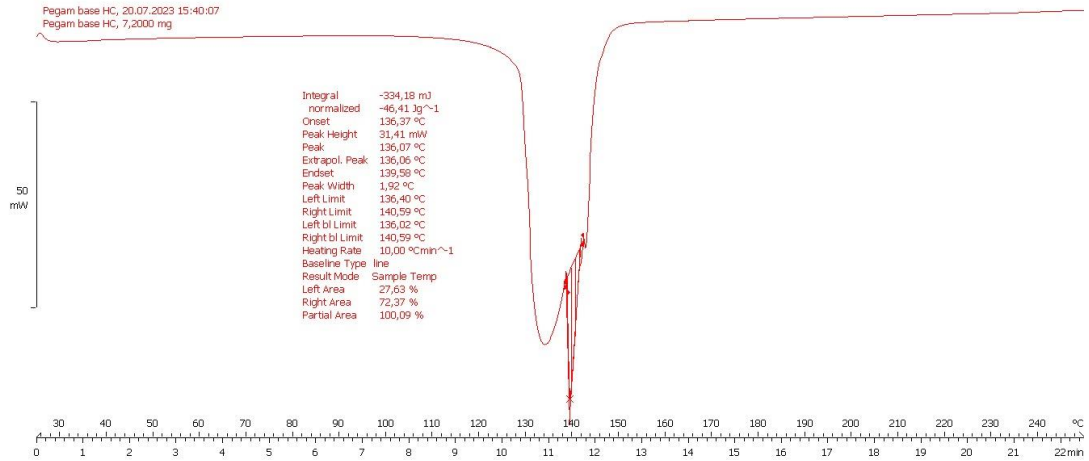
Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento



Como se puede observar en la Figura 13 el comportamiento del pegamento al someterse a calor constante presenta un primer pico endotérmico a partir de los 116,41 °C, sin embargo, al alcanzar los 134 °C hasta alrededor de los 136 °C se observa una transición exotérmica. Este fenómeno es común en polímeros que no son puros, en otras palabras, aquellos polímeros que han sido mezclados con otros componentes lo cual les atribuye una naturaleza heterogénea (Sangroniz et al., 2021). Asimismo, el proceso de producción del material analizado puede influir drásticamente en su comportamiento térmico (Schulz et al., 2020). Se ha reportado que los picos de cristalización como el observado en la Figura 12 (de 134 °C hasta \approx 136 °C) se producen cuando las moléculas del polímero se reordenan durante el calentamiento (Zhang et al., 2020). Esto puede deberse a que, durante el proceso de producción del pegamento, los componentes de este estaban superpuestos estrechamente (Svoboda & Málek, 2011).

Figura 14.

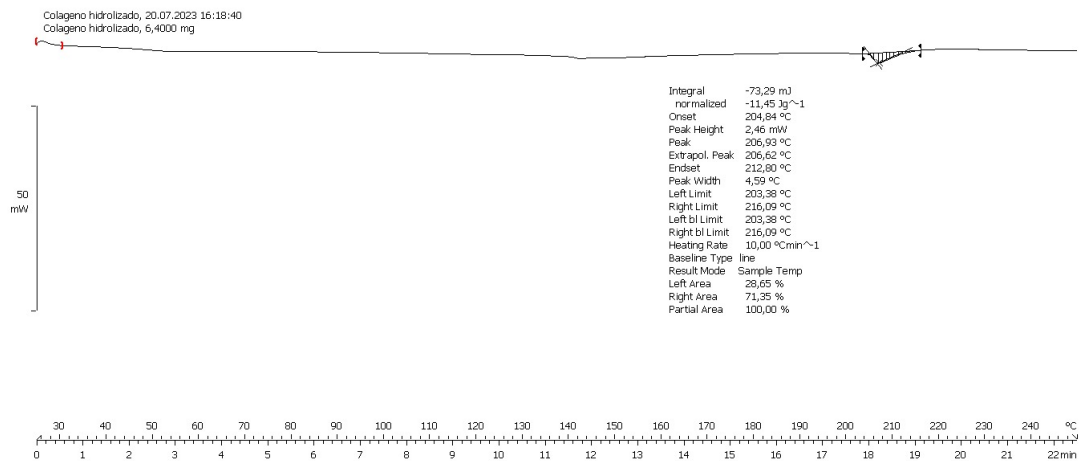
Calorimetría de barrido diferencial de la muestra del pegamento



Por consiguiente, se puede observar el segundo pico endotérmico (Figura 14) desde los 136 °C hasta los 140 °C aproximadamente. En este punto, al comparar los resultados obtenidos de la Figura 12 y Figura 13 se puede ver que el punto o temperatura de fusión (T_m) cuyo valor fue de 136,07 °C, es el mismo en los dos casos, independientemente del área (entalpía de fusión, $\Delta_{fus}H$) porque a esta temperatura los polímeros comenzarán a fundirse (**Blanco, 2020**). La diferencia entre los dos resultados radica en la integral o área tomada para calcular la cantidad de calor necesario para que el material comience a fundirse ($\Delta_{fus}H$) (**Harvey et al., 2018**). Es notable que la $\Delta_{fus}H$ de la Figura 13 es mayor (850,24 J/g) en comparación a $\Delta_{fus}H$ de la Figura 14 (46,41 J/g) debido a que la cantidad de energía que se necesita para alcanzar la T_m es directamente proporcional al área del pico endotérmico (**Sun et al., 2018**).

Figura 15.

Calorimetría de barrido diferencial del colágeno hidrolizado



Por su parte, en la Figura 15 se presenta el termograma de la solución de colágeno sin la adición de otros componentes. Como se visualiza la T_m es mayor ($206,93\text{ }^{\circ}\text{C}$) que en el termograma del pegamento ($136,07\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la $\Delta_{\text{fus}}H$ fue de $11,45\text{ J/g}$ (Figura 13 y 14). Esto puede deberse a que la unión del colágeno con polímeros termoplásticos como la resina acrílica disminuya la T_m , por lo tanto, el pegamento es menos estable en comparación a la solución de colágeno sola y se requiere de una mayor $\Delta_{\text{fus}}H$ para fundirse (Alhadid et al., 2020; Uzcátegui, 2019). Por otro lado, se ha demostrado que la adición de polímeros como la glicerina puede incrementar la T_m del colágeno en solución al proteger su estructura de triple hélice de la desnaturalización. Ocurre lo contrario con la adición de alcoholes (Li & Li, 2011). Sin embargo, hay que considerar que la medida en la que naturaleza individual de cada componente influya en el comportamiento térmico del pegamento dependerá de su proporción en la mezcla (Schulz et al., 2020).

3.7. Comprobación de la hipótesis

Se acepta la hipótesis alternativa, por lo tanto, las formulaciones de pegamentos con concentraciones elevadas de colágeno hidrolizado en su composición presentan mayor capacidad de adherencia.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se determinó las concentraciones adecuadas para la formulación del pegamento funcional. Se encontró por medio de una experimentación de saturación de gelatina en agua, la cantidad a añadir de colágeno hidrolizado seco es 20 g en 50 ml de agua para la preparación de la solución de colágeno hidrolizado usado en distintas proporciones en la formulación del pegamento. Las proporciones de acetato de polivinilo agregadas a la mezcla permitieron conseguir un producto funcional.

Se cuantificó características de las formulaciones, una de ellas fue tiempo de secado donde el YOR3 mostró el mejor resultado, con un tiempo de 8,45 min, indicando mínimas diferencias con respecto a otras formulaciones. Los pegamentos poseen carácter de pH neutro, propio de los componentes adicionados, los cuales al integrarse se corroboró que tienen un grado de polimerización. Finalmente se evaluó la adhesividad que tienen los pegamentos siendo valores inferiores a 8 (prueba de cuchillo).

Se optimizó la composición del pegamento por medio de un diseño de superficie, mostrando así que el hidrolizado de colágeno y el acetato de polivinilo presentan una tendencia a mejorar la adhesividad cuando mayor son sus concentraciones. Dentro de la fórmula de optimización los valores que menos influyeron significativamente fueron los cuadráticos, por lo que la gráfica siguió una superficie plana, y por ende mostrando los valores óptimos como los evaluados en la prueba de pelado (colágeno hidrolizado de 20% y acetato de polivinílico 16%).

Se estableció la influencia del proceso de curado sobre la adhesividad de los pegamentos, encontrando valores superiores a los pegamentos sintéticos en

la prueba de pelado, específicamente el cemento de contacto africano. De igual forma se evaluó los parámetros como el color, sólidos totales (45,94%), viscosidad (12386 mPa*s) y estabilidad térmica (T_m 136.07 °C), encontrando valores ya establecidos por otras formulaciones, lo que demuestra que el pegamento sigue una tendencia que podría ajustarse (con mayor cantidad de pruebas) a lo comercial.

Se optimizó una formulación de los nueve pegamentos por medio de la prueba de pelado o tensión mostrando que la formulación Y2R1 es la mejor, con un valor de 13.17 N/cm. Siendo incluso más fuerte que un adhesivo comercial.

4.2.Recomendaciones

Usar un homogenizador en lugar de un agitador para conseguir una mezcla de pegamento uniforme y estable.

Realizar pruebas de vida útil para evaluar si existen cambios en las propiedades y características del pegamento, a lo largo del tiempo.

Estudiar la influencia de distintas concentraciones alcohol polivinílico sobre la capacidad de adherencia del pegamento.

Añadir reactivos que permitan aumentar la adherencia de los pegamentos.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Abreu, A. (2017). *Estudio del efecto del grado de entrecruzamiento de gelatina electrohilada en su resistencia a la degradación* [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/856/1/PMP_M_Tesis_2017_Abreu_Rejon_Antonio.pdf
- Acofarma. (2006). *Ficha de datos de seguridad. Glicerina*. www.acofarma.com/
- Aftab Ali Shaikh, M., Kanti Deb, A., Akter, E., Ferdous, T., Abu Sayid Mia, M., & Aftab Ali Shaikh, M. (2017). Adición de recursos a la industria del cuero: Adhesivo de polvo de afeitar cromado. *Revista de Investigación Científica e Innovadora*, 6(4), 138–141. www.jsirjournal.com
- Ahn, J. S., & Lee, Y. K. (2008). Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 100(1), 18–28. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60129-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60129-8)
- Alhadid, A., Mokrushina, L., & Minceva, M. (2020). Design of Deep Eutectic Systems: A Simple Approach for Preselecting Eutectic Mixture Constituents. *Molecules* 2020, Vol. 25, Page 1077, 25(5), 1077. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25051077>
- Amaya, L. D. (2014). *Desarrollo de una resina estructurada tipo núcleo-coraza (pigmento-polímero) con agente acoplador tipo silano para pinturas base agua de alto desempeño* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://www.mincit.gov.co/minindustria/temas-de-interes/reglamentos-tecnicos-en-el-mcit/documentos/25-03-2022-tesis-pinturas-luis-daniel-amaya.aspx>
- Anaguano, D., & Loachamin, C. (2008). *Análisis de uniones por adhesión para materiales metálicos* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2148>
- Apmann, K., Fulmer, R., Soto, A., & Vafaei, S. (2021). Thermal Conductivity and Viscosity: Review and Optimization of Effects of Nanoparticles. *Materials* 2021, Vol. 14, Page 1291, 14(5), 1291. <https://doi.org/10.3390/MA14051291>

- ASTM. (2012). *D1876 - Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)*. 02, 14–16. <https://doi.org/10.1520/D1876-08R15E01>
- ASTM. (2018a). *D 2556-93a Standard test method for apparent viscosity of adhesives having shear-rate-dependent flow properties*. 15.06, 1–2. <https://doi.org/10.1520/D2556-14R18>
- ASTM. (2018b). Standard Test Method for Evaluating Adhesion by Knife. *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/D6677-18>
- Awad, M., Alrahlah, A., Matinlinna, J., & Hamama, H. (2019). Effect of adhesive air-drying time on bond strength to dentin: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 90, 154–162. <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2019.02.006>
- Baretto, S. (2006). *Diseño de calzado urbano*. Nobuko. https://books.google.com.ec/books?id=ykG1RY3NeEkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Barioglio, C. F. (2001). *Diccionario de producción animal* (Primera).
- Belbachir, K., Noreen, R., Gouspillou, G., & Petibois, C. (2009). Collagen types analysis and differentiation by FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395(3), 829–837. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3019-y>
- Beretta, A., Bassahun, D., Musselli, R., & Torres, D. (2015). Medición de pH del suelo con papel reactivo. *Agrociencia*, 19(2), 68–74. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000200009
- Blanco, I. (2020). The correctness of Cp measurements by DSC, actions to do and not to do. *Thermochimica Acta*, 685, 178512. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2020.178512>
- Castañeda, L., Manrique, A., Córdova, J., & Briceño, E. (2013). Síntesis y caracterización de un adhesivo acuoso de poliuretano: Un aporte a la producción nacional de adhesivos ecológicos. *Cátedra Villareal*, 1(2), 139–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.24039/cv20131216>

- Castro, N., & Herreño, S. (2020). *Obtención de la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa de pinturas Tonner*. [Tesis de Pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7792/1/6151578-2020-1-IQ.pdf>
- Chabaane, L., Tahiri, S., Albizane, A., Krati, M., Cervera, M. L., & de la Guardia, M. (2011). Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 310–317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2011.09.037>
- Cobeña, M., Dueñas, A., Delgado, M., & Rodríguez, J. (2022). Revisión de los métodos de obtención de colágeno a partir de subproductos de especies marinas. *Revista Centro Azúcar*, 49(4), 1–12. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n4/2223-4861-caz-49-04-102.pdf>
- Coello, V. C., & Garcés, C. C. (2015). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31046>
- Costa, R., Jacinto, M., Camacho, M., Medeiros, A., Oliveria, R., & Rey, S. (2006). Aspectos estructurales de la piel ovina y su resistencia. *Pequeños Rumiantes*, 7(2), 24–29.
- Dhiman, S., & Mukherjee, G. (2021). Biotechnological approaches towards treatment and recycling of wastewater from tanneries and leather industry. *Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants*, 249–268. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822503-5.00022-9>
- Faghihzadeh, F., Anaya, N., Schifman, L., & Oyanedel, V. (2016). Fourier transform infrared spectroscopy to assess molecular-level changes in microorganisms exposed to nanoparticles. *Nanotechnology for Environmental Engineering 2016 1:1*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S41204-016-0001-8>
- Flores, L. (2016). *Estudio del comportamiento de adhesivos sintéticos y de sus propiedades físico-químicas aplicados sobre soporte lúneo* [Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74341/FLORES%20->

%20Estudio%20%20del%20comportamiento%20de%20adhesivos%20sint%C3%A9ticos%20y%20de%20sus%20propiedades%20f%C3%ADsico-qu%C3%ADmicas....pdf?sequence=1

GAD Municipal de Ambato. (2014). *Ordenanza que establece el cobro de la tasa por recolección diferenciada y disposición final de los desechos hospitalarios; y, disposición final de desechos industriales y escombros generados en el cantón Ambato*. <https://gadmatic.ambato.gob.ec/infoambato/ordenanzas.php>

Geneser, F. (1998). *Atlas color de histología*. Médica Panamericana. <https://oncouasd.files.wordpress.com/2015/06/atlas-de-histologia-geneser.pdf>

Grupo Puma. (2017). *Ficha de datos de seguridad. Resina Acrílica*. www.grupopuma.com

Harvey, J. P., Saadatkah, N., Dumont-Vandewinkel, G., Ackermann, S. L. G., & Patience, G. S. (2018). Experimental methods in chemical engineering: Differential scanning calorimetry—DSC. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 96(12), 2518–2525. <https://doi.org/10.1002/CJCE.23346>

Hasnul, M., Ker, P., Thiviyanathan, V., Tang, S. G., Leong, Y., Lee, H., Hannan, M., Jamaludin, M., & Mahdi, M. (2021). The Amber-Colored Liquid: A Review on the Color Standards, Methods of Detection, Issues and Recommendations. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 6866, 21(20)*, 6866. <https://doi.org/10.3390/S21206866>

Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. In *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317–344). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9

Kharazmi, A., Faraji, N., Hussin, R., Saion, E., Yunus, W., & Behzad, K. (2015). Structural, optical, opto-thermal and thermal properties of ZnS-PVA nanofluids synthesized through a radiolytic approach. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1), 529–536. <https://doi.org/10.3762/bjnano.6.55>

Kumari, P., Sen, S., & Suneetha, V. (2016a). Production of glue from tannery effluent by physical, chemical and biological methods. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 9(8). <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2016.00195.5>

- Lai, J., Knudson, C., Hallgren, L., & Douglas, R. (1985). Effect of Humidity and Temperature on the Adhesive Strength of Pressure Sensitive Adhesives. *Polymer Engineering and Science*, 25(12), 1–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pen.760251209>
- Li, J., & Li, G. (2011). The thermal behavior of collagen in solution: Effect of glycerol and 2-propanol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(2), 364–368. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2010.12.013>
- Luna, F. J. (2014). *Materiales y servicios en reparación de calzado y marroquinería. TCPC0109*. IC Editorial. https://books.google.com.ec/books?id=xU0pEAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Materiales+y+servicios+en+reparaci%C3%B3n+de+calzado+y+marroquiner%C3%ADa.+TCPC0109&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Materiales%20y%20servicios%20en%20reparaci%C3%B3n%20de%20calzado%20y%20marroquiner%C3%ADa.%20TCPC0109&f=false
- Mathias, K., & Ah, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/AGROSUR.2014.V42N2-07>
- Maury, A. (2010). Empleo de ANOVA para determinar la consistencia entre resultados de mediciones únicas. *Boletín Científico Técnico INIMET*, 2(2), 9–14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017811003>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. <https://redbiblioteca.ucacue.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-MARCdetail.pl?biblionumber=78858>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2019). *Normativa para el manejo de residuos peligrosos*. www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/norma-residuos-peligrosos.pdf

- Moreno, J., Jordán, M., & Yaulema, F. (2010). Obtención de colágeno por hidrólisis alcalina-enzimática del residuo de “wet blue” en el proceso de curtición. *Perfiles*, 27–31. <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles08Art5.pdf>
- Muiznieks, L., & Keeley, F. (2013). Molecular assembly and mechanical properties of the extracellular matrix: A fibrous protein perspective. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1832(7), 866–875. <https://doi.org/10.1016/J.BBADIS.2012.11.022>
- Núñez, R., Castro, A., López, M., Montero, P., & Gómez, M. (2013). Functional stability of gelatin-lignosulphonate films and their feasibility to preserve sardine fillets during chilled storage in combination with high pressure treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.006>
- Orgilés, E., Arán, F., Torró, A., & Martínez, A. (2019). Adhesives in the footwear industry: A critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 7(1), 69–91. <https://doi.org/10.7569/RAA.2019.097303>
- Osinsky, D., Baker, D., Braid, P., Conradi, F., Portich, P., Stern, F., & Spiegel, J. (2006). Cuero, Pieles y calzado. Industrias textiles y de la confección. In Organización Internacional del Trabajo (OIT) (Ed.), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.
- Pahlawan, I. F., Sutyasmi, S., & Griyanitasari, G. (2019). Hydrolysis of leather shavings waste for protein binder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012083>
- Parisi, M., Nanni, A., & Colonna, M. (2021). Reciclaje de pieles curtidas al cromo y su utilización como materiales poliméricos y compuestos a base de polímeros: una revisión. *Polímeros*. <https://doi.org/10.3390/polim13030429>
- Peña, D. A. (2007). *Atlas de dermatología del pie / Atlas Foot of Dermatology Atlas de dermatología del pie / Atlas Foot of Dermatology*. Médica Panamericana. <https://books.google.com.ec/books?id=Sji16aQ9XwUC&printsec=frontcover&dq=atlas+dermatologia&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjYt5r62IDjAhWMylkKHbmXBFQ6A EIKzAA#v=onepage&q=atlas%20dermatologia&f=false>

- Pérez, L. M., & Segarra, P. (2019). Gestión de residuos en las curtiembres de la ciudad de Ambato, Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 21–36.
- Plotka, J., de la Guardia, M., Andruch, V., & Vilková, M. (2020). Deep eutectic solvents vs ionic liquids: Similarities and differences. *Microchemical Journal*, 159, 105539. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2020.105539>
- Procuraduría General del Estado del Ecuador. (2019). *Gestión ambiental de las curtiembres*. www.pge.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/GESTION-AMBIENTAL-DE-LAS-CURTIEMBRES.pdf
- Quimipur. (2016). *Ficha de datos de seguridad. Alcohol polivinílico*. <http://quimipur.com/>
- Ramírez, A., Aguilar, C., & Aparicio, A. (2019). Fingerprint analysis of FTIR spectra of polymers containing vinyl acetate. *DYNA*, 86(209), 198–205. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.77513>
- Ramis, X. (1993). Estudio de la eficiencia de sistemas químicos de iniciación del curado de resinas de poliéster insaturado. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/6686>
- Rao, J. R., Thanikaivelan, P., Sreeram, K. J., & Nair, B. U. (2002). Green route for the utilization of chrome shavings (chromium-containing solid waste) in tanning industry. *Environmental Science & Technology*, 36(6), 1372–1376. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/1232114
- Reyes, M. Y. (2006). *Obtención y caracterización de almidones modificados de Malanga (Colocasia esculenta) y Trigo (Triticum sativum) y su aplicación en la fabricación de yogurt* [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46905>
- Rindler, A., Hansmann, C., & Konnerth, J. (2019). The effect of moisture on the mechanical response of wood, adhesive and their interphase by means of nanoindentation. *Wood Science and Technology*, 53(4), 729–746. <https://doi.org/10.1007/S00226-019-01100-4/FIGURES/6>

- Roth Carl. (2016). *Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)*. www.carlroth.de
- Saeed, A. A., & Kassab, T. (2015). Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectroscopy of new copolymers of acrylic resin denture base materials. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 4(4), 172–180. https://doi.org/10.1002/14356007.a16_441
- Salguero, A. V. (2018). *Técnicas básicas de guarnicionería. TCPF110*. IC Editorial. <https://books.google.com.ec/books?id=U1cpEAAAQBAJ&pg=PP1&dq=T%C3%A9cnicas+b%C3%A1sicas+de+guarnicioner%C3%ADa.+TCPF110&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwidsO227Kv7AhXQmIQIHZDOA2YQ6AF6BAgMEAI#v=onepage&q=T%C3%A9cnicas%20b%C3%A1sicas%20de%20guarnicioner%C3%ADa.%20TCPF110&f=false>
- 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* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3849>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (n.d.). *Sector cuero, caucho y plástico*. Retrieved August 10, 2022, from <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/10/La-manufactura-de-cuero.pdf>.
- Sánchez, B., Díaz, A., Tarrío, J., López, J., Gracia, C. A., & Artiaga, R. (2019). Thermal and rheological comparison of adhesives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138(5), 3357–3366. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08882-6>
- Sangroniz, L., Wang, B., Su, Y., Liu, G., Cavallo, D., Wang, D., & Müller, A. J. (2021). Fractionated crystallization in semicrystalline polymers. *Progress in Polymer Science*, 115, 101376. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2021.101376>
- Schulz, M., Seidlitz, A., Petzold, A., & Thurn-Albrecht, T. (2020). The effect of intracrystalline chain dynamics on melting and reorganization during heating in semicrystalline polymers. *Polymer*, 196, 122441. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2020.122441>

- Sedano, M., Ávila, L. E., & Jardón, G. (2021). Análisis técnico de tres adhesivos comerciales para la industria de muebles. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(4), 1–7. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.4.029>
- Shaikh, A., Amal, K., Akter, E., Tasnimul, F., & Mía, A. (2017). Resource addition to leather industry: Adhesive from chrome shaving dust. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 6(4), 138–141.
- Shoulders, M. D., & Raines, R. T. (2009). Collagen Structure and Stability. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev.Biochem.77.032207.120833*, 78, 929–958. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.BIOCHEM.77.032207.120833>
- Sun, X., Lee, K. O., Medina, M. A., Chu, Y., & Li, C. (2018). Melting temperature and enthalpy variations of phase change materials (PCMs): a differential scanning calorimetry (DSC) analysis. *Https://Doi.Org/10.1080/01411594.2018.1469019*, 91(6), 667–680. <https://doi.org/10.1080/01411594.2018.1469019>
- Svoboda, R., & Málek, J. (2011). Interpretation of crystallization kinetics results provided by DSC. *Thermochimica Acta*, 526(1–2), 237–251. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2011.10.005>
- Toledo, S. (2014). *Influencia del tiempo de evaporación pasiva del solvente de un adhesivo en la conductancia hidráulica transdentinaria, en un modelo in vitro* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130751/Influencia-del-tiempo-de-evaporaci%C3%B3n-pasiva-del-solvente-de-un-dhesivo-en-la-%20conductancia-hidr%C3%A1ulica.pdf?sequence=1>
- Uzcátegui, J. (2019). *Síntesis de Resinas acrílicas conteniendo monómeros biobasados y su evaluación como recubrimiento individual y sistema dual como resina alquidálica*. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Velásquez, S., Giraldo, D., & Cardona, N. (2015). Reciclaje de residuos de cuero: una revisión de estudios experimentales. *Informador Técnico*, 79(2), 188. <https://doi.org/10.23850/22565035.163>
- Verma, T., Tiwari, S., Tripathi, M., & Ramteke, P. (2019). Treatment and Recycling of Wastewater from Tannery Treatment and Recycling of Wastewater from Tannery.

Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants, 51–90.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-1468-1_3

Wei, S., Pintus, V., & Schreiner, M. (2012). Photochemical degradation study of polyvinyl acetate paints used in artworks by Py-GC/MS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.05.004>

Zhang, X., Xu, S., Shen, L., & Li, G. (2020). Factors affecting thermal stability of collagen from the aspects of extraction, processing and modification. *Journal of Leather Science and Engineering 2020 2:1*, 2(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/S42825-020-00033-0>

Zhang, Y., Chen, Z., Liu, X., Shi, J., Chen, H., & Gong, Y. (2021). SEM, FTIR and DSC Investigation of Collagen Hydrolysate Treated Degraded Leather. *Journal of Cultural Heritage*, 48, 205–210. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2020.11.007>

ANEXOS

Anexo A

Reactivos usados para la formulación de los pegamentos

1



2



3



4



Nota. (1) Solución de colágeno hidrolizado al 20%. (2) Acetato de polivinilo. (3) Alcohol polivinílico. (4) Resina acrílica.

Anexo B

Pegamentos formulados



Nota. Los pegamentos se hallan compuestos por 20 g de colágeno hidrolizado y acetato de polivinilo a 16 g (R1), 8g (R2) Y 4g (R3). El resto de las componentes se agregaron en cantidades iguales en todas las formulaciones.

Anexo C

Medición de pH de los pegamentos



Nota. La medición se realizó usando tiras de pH.

Anexo D

Medición del tiempo de secado de los pegamentos



Nota. El tiempo de secado se midió a temperatura ambiente de 21 °C.

Anexo E

Medición de la capacidad adhesiva de los pegamentos de las formulaciones de pegamentos



Nota. Se estableció este parámetro siguiendo la norma ASTM D6677-18.

Anexo F

Prueba de resistencia al pelado



Nota. La prueba de resistencia al pelado se realizó en el laboratorio de control de calidad de Curtiembre Tungurahua S.A.

Anexo G

Análisis de caracterización de pegamento

1



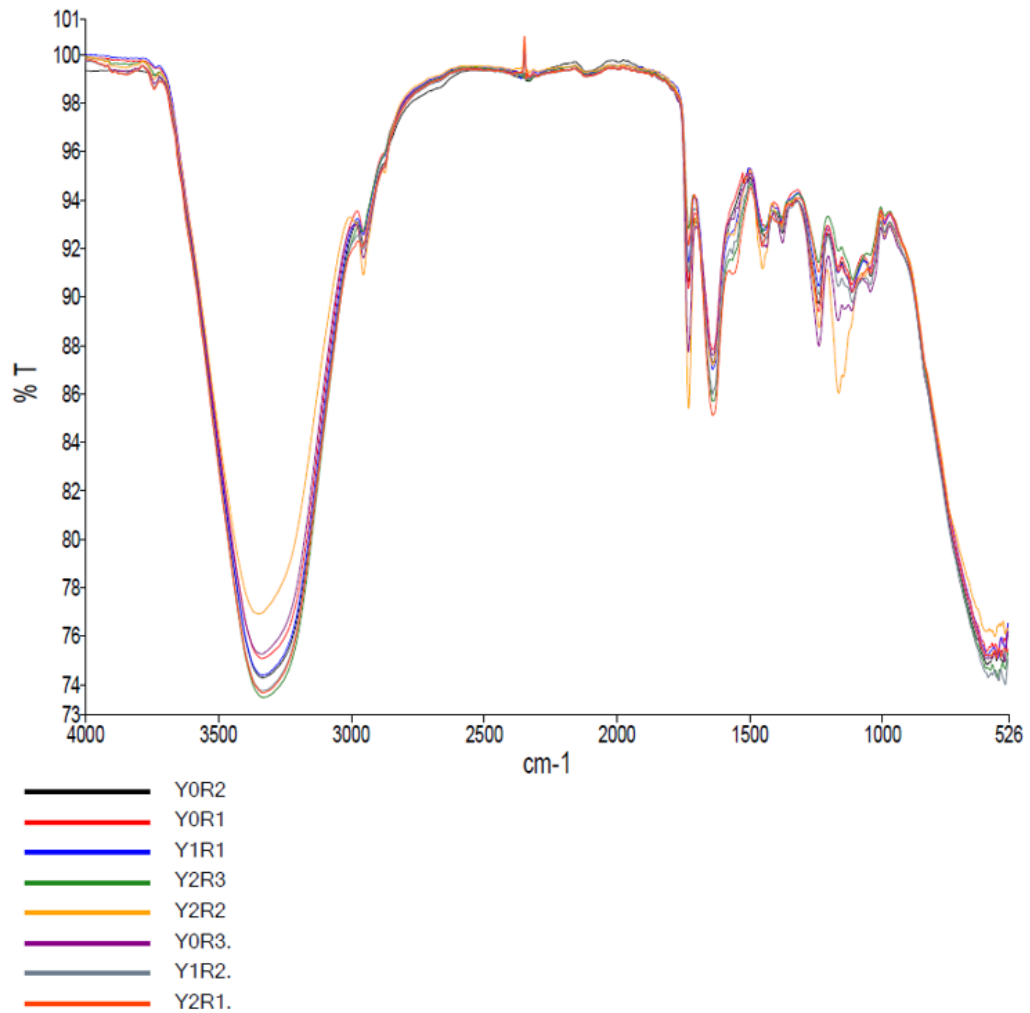
2



Nota. La medición se realizó al tratamiento con la mayor adherencia. (1) análisis de viscosidad. (2) medición de solidos totales.

Anexo H

Espectros infrarrojos los pegamentos formulados



Nota. Se muestran los espectros de los pegamentos formulados, evidenciando solapamiento de todos sus espectros.

Anexo I

Análisis de la superficie respuesta

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	5	477.546	95.509	149.14
Lineal	2	457.917	228.959	357.52
Colágeno hidrolizado (g)	1	329.242	329.242	514.11
Acetato de polivinilo (g)	1	128.675	128.675	200.93
Cuadrado	2	4.339	2.169	3.39
Colágeno hidrolizado (g)*Colágeno hidrolizado (g)	1	1.641	1.641	2.56
Acetato de polivinilo (g)*Acetato de polivinilo (g)	1	2.698	2.698	4.21
Interacción de 2 factores	1	17.260	17.260	26.95
Colágeno hidrolizado (g)*Acetato de polivinilo (g)	1	17.260	17.260	26.95
Error	39	24.976	0.640	
Falta de ajuste	3	17.151	5.717	26.30
Error puro	36	7.825	0.217	
Total	44	502.522		

Fuente	Valor p
Modelo	0.000
Lineal	0.000
Colágeno hidrolizado (g)	0.000
Acetato de polivinilo (g)	0.000
Cuadrado	0.044
Colágeno hidrolizado (g)*Colágeno hidrolizado (g)	0.118
Acetato de polivinilo (g)*Acetato de polivinilo (g)	0.047
Interacción de 2 factores	0.000
Colágeno hidrolizado (g)*Acetato de polivinilo (g)	0.000
Error	
Falta de ajuste	0.000
Error puro	
Total	

Nota. Modelo lineal y cuadrático de obtenido mediante el software Minitab.

Anexo J

Sistema de clasificación para valorar la adhesividad

Clasificación	Descripción
10	El recubrimiento es extremadamente difícil de eliminar; los fragmentos no mayores de aproximadamente 0,8 por 0,8 mm (1/32 pulg. por 1/32 pulg.) se extrajeron con gran dificultad.
8	El recubrimiento es difícil de quitar; las virutas que van desde aproximadamente 1,6 por 1,6 mm (1/16 por 1/16 pulg.) hasta 3,2 por 3,2 mm (8 por 8 pulg.) se pueden quitar con dificultad.
6	El recubrimiento es algo difícil de quitar; Las virutas que van desde aproximadamente 3,2 por 3,2 mm (8 por 1/8 pulg.) hasta 6,3 por 6,3 mm (14 por 1/4 pulg.) se pueden quitar con ligera dificultad.
4	El recubrimiento es algo difícil de quitar; Las virutas de más de 6,3 por 6,3 mm (4 por 1/4 pulg.) se pueden quitar ejerciendo una ligera presión con la hoja del cuchillo.
2	El revestimiento se elimina fácilmente; una vez iniciado con la hoja del cuchillo, el revestimiento se puede agarrar con los dedos y pelar fácilmente hasta una longitud de al menos 6,3 mm (1/4 pulg.).
0	El revestimiento se puede despegar fácilmente del sustrato hasta una longitud superior a 6,3 mm (1/4 pulg.)

Nota. Esta clasificación pertenece a la norma ASTM D6677-18

Anexo K

Resultados de la prueba de resistencia al pelado según la norma ASTM D1876

Formulación	Adherencia (N/cm)				
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5
Y0R1	4,42	4,66	5,00	3,46	4,30
Y0R2	1,73	2,60	2,06	1,80	2,22
Y0R3	1,06	0,73	0,53	1,53	1,28
Y1R1	8,06	7,32	7,13	7,67	7,31
Y1R2	5,80	5,60	6,00	6,05	5,59
Y1R3	4,54	5,26	5,20	4,75	5,80
Y2R1	13,25	13,60	13,30	12,13	13,56
Y2R2	7,70	6,04	7,43	7,43	7,78
Y2R3	6,20	6,26	6,79	6,52	6,60
HC 20%	0,92	0,66	1,19	0,49	0,61
C.C.	8,73	8,40	9,87	8,62	8,53

Nota. HC 20 % corresponde a la solución de gelatina al 20 %. C.C. corresponde a pegamento comercial Africano ® cemento de contacto. El HC 20 % y C.C., funcionan como controles.

Anexo J

Resultados de colorimetría aplicado a muestra del mejor tratamiento

Número de puntos	L*	a*	b*
1	97,1	-3,2	1,7
2	96,6	-3	1,9
3	96,6	-2,9	1,9
4	97,7	-3,8	2,5
5	97,1	-3,4	2,5
6	97,9	-4,1	1,5
7	96,6	-4	1,8
8	95,4	-4,5	2,4
9	95,7	-4,6	2,1
10	96,2	-4	2,3
11	96	-3,5	2,4
12	97,8	-3,8	2,7
13	97,3	-3,7	2,3
14	95,5	-4,4	3,4
15	97,5	-3,5	2,3

Nota. L* indica la luminosidad, mientras que a* y b* son las coordenadas cromáticas rojo/verde y amarillo/azul respectivamente.

Anexo L

Resultado de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples para el tiempo de secado

Formulaciones	N	Media	Agrupación			
Y1R2	3	14,033	A			
Y2R1	3	12,967	A	B		
Y1R1	3	12,933	A	B		
Y0R1	3	11,933	B	C		
Y1R3	3	11,433		C	D	
HC 20%	3	10,667		C	D	E
Y2R2	3	10,533			D	E
Y0R2	3	10,400			D	E
Y2R3	3	9,833				E F
Y0R3	3	8,933				F

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo M

Licencia del software estadístico Minitab

Minitab
Administrar suscripción

Resumen de la suscripción Preferencias de suscripción ▾

Nombre de empresa OnTheHub	Dirección de la aplicación web https://app.minitab.com	Último acceso 8/2/2023
Fecha de renovación 25/1/2024	Cuota de usuarios 1	Contacto de facturación Nelly Esther Flores Tapia
ID de suscripción 08602c626e254fc1a6864587ee99555f	Modelo de la licencia Usuario especificado	

Minitab® Statistical Software Aplicación de escritorio

Minitab® Statistical Software 21.3.1.0

Preferencias de implementación
Automático
[Edita preferencias](#)

Administrar usuarios Opciones masivas ▾

▾ ▾

ne.flores@uta.edu.ec Nelly Esther Flores Tapia