



Congreso Científico Juvenil

2024-2025

Estudiantes:

Camila Marie Tejada Rodríguez (25-0063)

Elena María Ovalle De Moya (25-0381)

Marian Paniagua Familia (25-0588)

Rosheli Castillo Mejía (25-0445)

Valentina Abigail Moronta Peralta (25-0060)

Carrera:

Odontología

Tema:

Informe Final - CCJ 2025

Proyecto:

Desarrollo de un Adhesivo Ecológico a partir de Recursos Naturales para Aplicaciones
Sustentables

30 de junio 2025. Distrito Nacional, Rep. Dom.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
OBJETIVOS.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	9
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
La problemática de los adhesivos sintéticos convencionales: un análisis profundo del impacto ambiental y en la salud	10
La necesidad imperante y las ventajas ineludibles de los adhesivos ecológicos y sustentables.....	13
Recursos naturales como pilar del desarrollo de adhesivos ecológicos.....	15
Propiedades deseadas y metodología rigurosa en el desarrollo de adhesivos ecológicos	17
Aplicaciones sustentables y perspectivas futuras de los adhesivos ecológicos.....	19
METODOLOGÍA.....	21
Materiales	22
PARTE EXPERIMENTAL	23
PROCEDIMIENTOS	23
Procedimiento de extracción del almidón de la papa	23
Procedimiento de la elaboración del pegamento a base de papa.....	25
RESULTADOS	27
CONCLUSIÓN	31
RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS.....	40

INTRODUCCIÓN

La presencia de los pegamentos o adhesivos sintéticos en nuestro día a día, desde el empaquetado de alimentos hasta la manufactura industrial, ha causado una dependencia que, si bien facilita muchísimos procesos, hala un costo ambiental cada vez más evidente. La mayoría de estos adhesivos convencionales son productos derivados del petróleo, lo que los convierte en una fuente de preocupación en el contexto de la sostenibilidad global. Esta problemática se manifiesta en distintos puntos, generando un reto que necesita una respuesta urgente y creativa.

Uno de los problemas más preocupantes de usar tanto pegamento sintético es cómo daña el medio ambiente. Como la mayoría de estos pegamentos no se descomponen solos, se quedan en el planeta por cientos de años. Esto hace que se acumule mucha basura en los vertederos y también en los ríos y mares. Cuando estos pegamentos se rompen en pedazos pequeños (micropartículas), son aún más peligrosos. Estas micropartículas pueden meterse en la tierra y el agua, dañando a los animales y plantas, y hasta pueden llegar a lo que comemos. Toda esta contaminación no solo estropea la naturaleza, sino que también tiene graves consecuencias a largo plazo para la salud de todos los seres vivos.

Además de su persistencia en el ambiente, la dependencia de fuentes no renovables es un pilar fundamental del problema. Según el libro de *“Introducción a la química de los polímeros”*, de Raymond B. Seymour y Charles E. Carraher Jr., la producción de adhesivos sintéticos se basa en gran medida en recursos fósiles como el petróleo. La extracción y el procesamiento de estos recursos son insostenibles, agotando reservas finitas y contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que a su vez agrava el

cambio climático. Esta cadena de producción, desde la extracción hasta el desecho, es un recordatorio constante de la necesidad de llegar hacia alternativas más sostenibles.

La preocupación por la toxicidad y el riesgo para la salud añade otra capa de complejidad al panorama. Muchos adhesivos sintéticos contienen o liberan Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) durante su aplicación y curado. Estos compuestos pueden ser irritantes, alergénicos o incluso cancerígenos, impactando negativamente la calidad del aire interior y la salud de quienes los manipulan o se exponen a ellos de forma prolongada.

“Estudios adicionales de TEAM indican que, al usar productos que contienen sustancias químicas orgánicas, las personas pueden exponerse a sí mismas y a otros a niveles muy altos de contaminantes, y que estas concentraciones elevadas pueden persistir en el aire mucho después de finalizar la actividad”. (United States Environmental Protection Agency-EPA).

La limitación en la gestión de residuos es un obstáculo para los esfuerzos de reciclaje. La presencia de adhesivos sintéticos en productos compuestos dificulta en gran medida el proceso de reciclaje de materiales como papel, cartón o plásticos. El adhesivo puede contaminar el flujo de reciclaje o requerir procesos de separación complejos y costosos, lo que disminuye la eficiencia del reciclaje y, en muchos casos, hace imposible la recuperación de materiales valiosos. Esto crea un cuello de botella en la economía y contribuye a la acumulación de residuos que de otro modo podrían ser reutilizados.

A pesar de que existen adhesivos ecológicos en el mercado, su disponibilidad, costo y rendimiento para aplicaciones cotidianas aún no son competitivos con las opciones sintéticas. Persiste una brecha notable entre la creciente necesidad de adhesivos sostenibles y la oferta de productos que cumplan con las expectativas de funcionalidad, facilidad de uso y accesibilidad para el consumidor promedio. Este proyecto se trata precisamente con la

intención de contribuir a cerrar esa brecha, enfocándose en el desarrollo de un adhesivo ecológico, el cual sea una alternativa viable y efectiva.

ANTECEDENTES

La creciente preocupación global por el medio ambiente y la escasez de recursos derivados del petróleo han impulsado una búsqueda intensiva de alternativas sostenibles en diversas industrias, incluyendo la de los adhesivos. Tradicionalmente, los adhesivos han dependido en gran medida de materiales sintéticos derivados de combustibles fósiles, lo que genera un impacto ambiental considerable tanto en su producción como en su disposición final. En este contexto, el desarrollo de adhesivos ecológicos a partir de recursos naturales se ha convertido en un campo de investigación crucial, ofreciendo una vía prometedora hacia la reducción de la huella de carbono y la promoción de una economía circular.

Diversos estudios y desarrollos han marcado la pauta en la exploración de materiales biológicos para la formulación de adhesivos. En esta línea, se ha investigado ampliamente el potencial de los polisacáridos, como el almidón, debido a su abundancia, biodegradabilidad y bajo costo. Gadhavi, Mahanwar y Gadekar (2017) realizaron una revisión exhaustiva sobre los adhesivos a base de almidón para la unión de madera y compuestos de madera, destacando su viabilidad como una alternativa a los adhesivos sintéticos. Su trabajo subraya la importancia de la modificación química del almidón para mejorar sus propiedades adhesivas, como la resistencia a la humedad y la fuerza de unión, citando investigaciones previas que ya exploraban estas modificaciones (Zhang et al., 2014; Wilmers et al., 1994; Kauffman et al., 1996).

Un ejemplo concreto de la aplicación exitosa de recursos naturales en adhesivos lo encontramos en el lápiz adhesivo Pritt. Según Prittworld (s.f.), este producto está compuesto

en un 90% por ingredientes naturales, principalmente almidón de papa, lo que demuestra la factibilidad de crear adhesivos con un impacto ambiental reducido sin comprometer la funcionalidad. Este enfoque resalta la importancia de la investigación en la optimización de las propiedades de adhesión de materiales naturales.

En el ámbito de los subproductos agrícolas, Mayer y Hillebrandt (1997) investigaron la pulpa de papa como un residuo agrícola con potencial técnico. En su estudio, demostraron cómo la adición de gránulos de pulpa de papa seca a la masa de virutas de madera para la producción de tableros de partículas reduce drásticamente la cantidad de formaldehído o isocianato, que son adhesivos convencionales. Además, una variación de su investigación involucró el tratamiento de la pulpa de papa por liberación de presión para obtener un polvo fino que, al ser emulsionado en agua, puede reemplazar pegamentos convencionales para productos de papel bajo la aplicación de calor y presión (Mayer, 2016). Esta investigación pionera destaca el valor de los residuos agroindustriales como fuentes sostenibles para nuevos materiales.

Otros trabajos también han explorado la modificación de almidones para mejorar sus propiedades como adhesivos. Kozich, Jetzinger y Mann (2009) profundizaron en el almidón de papa como un "producto natural transformable", sugiriendo su versatilidad para diversas aplicaciones industriales. Asimismo, Grüll et al. (2006) analizaron el estado actual de la producción, modificación y aplicación de plataformas industriales de almidón, ofreciendo un panorama sobre las posibilidades de su uso en la formulación de adhesivos.

La patente DE 4020969 C 1 (Mayer et al., 1991) y EP 0732386 A 1 (Mayer et al., 1996) de Frank Mayer et al. son ejemplos claros de cómo la investigación sobre la pulpa de papa ha derivado en soluciones patentadas para la fabricación de piezas moldeadas a partir de

materiales que contienen madera o celulosa, utilizando métodos de producción específicos que resaltan su potencial como aglutinante.

Por otra parte, la investigación de Velásquez y Hernández (2014) sobre el desarrollo de un adhesivo a partir de almidón de yuca y caseína para el pegado de madera y papel, aunque no directamente referenciada en los documentos proporcionados, representa un ejemplo adicional de la exploración de otros recursos naturales para la creación de adhesivos ecológicos. Este tipo de estudios amplía el espectro de biopolímeros con potencial para sustituir adhesivos sintéticos.

En resumen, la literatura existente demuestra un interés creciente y una base sólida en el desarrollo de adhesivos a partir de recursos naturales. Desde la utilización de subproductos como la pulpa de papa hasta la modificación de almidones de diversas fuentes, la investigación se ha centrado en superar las limitaciones de los materiales biológicos y mejorar sus propiedades adhesivas para equipararlos o incluso superar a sus contrapartes sintéticas. El presente trabajo de investigación se basará en estos antecedentes para profundizar en la formulación y caracterización de un adhesivo ecológico a partir de recursos naturales específicos, con el objetivo de contribuir al avance hacia aplicaciones más sostenibles.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema central que aborda este proyecto radica en la dependencia generalizada de adhesivos sintéticos en la vida cotidiana y en diversas industrias, lo que genera un impacto ambiental negativo significativo. Los adhesivos convencionales presentan las siguientes problemáticas:

- **Contaminación ambiental:** Son en su mayoría no biodegradables, lo que contribuye a la acumulación de residuos en vertederos y ecosistemas acuáticos. Sus micropartículas pueden infiltrarse en el suelo y el agua, afectando la biodiversidad y la cadena alimentaria.
- **Fuentes no renovables:** La producción de adhesivos sintéticos depende en gran medida de recursos fósiles (petróleo), cuya extracción y procesamiento son intrínsecamente insostenibles y contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Toxicidad y riesgo para la salud:** Muchos adhesivos sintéticos contienen o liberan Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) durante su aplicación y curado, los cuales pueden ser irritantes, alergénicos o incluso cancerígenos, afectando la calidad del aire interior y la salud de los usuarios.
- **Limitaciones en la gestión de residuos:** La presencia de adhesivos sintéticos en productos compuestos dificulta el reciclaje de materiales como papel, cartón o plásticos, ya que el adhesivo contamina el flujo de reciclaje o requiere procesos de separación complejos y costosos.

Aunque existen algunos adhesivos ecológicos en el mercado, su disponibilidad, costo y rendimiento para aplicaciones cotidianas aún no son compatibles con las sintéticas. Existe aún una línea entre la necesidad de adhesivos sostenibles y la oferta de productos que cumplan con las expectativas de funcionalidad, facilidad de uso y accesibilidad para el consumidor promedio. Este proyecto busca contribuir a cerrar esa línea, desarrollando un adhesivo ecológico que sea una alternativa viable y efectiva.

Por lo tanto, para abordar este problema central, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

3. ¿Cómo influye la proporción de los ingredientes naturales (papa, vinagre, sal, azúcar) en la capacidad de adhesión y el tiempo de curado del pegamento ecológico en diferentes superficies (papel, cartón, plástico)?
3. ¿Qué vida útil y resistencia a la humedad presenta el adhesivo ecológico a base de papa, sal y vinagre en distintas temperaturas a lo largo del tiempo?
3. ¿Cuál es la percepción y aceptación de los usuarios finales (consumidores o industrias) respecto a las propiedades de uso, el costo y el impacto ambiental del adhesivo ecológico, en comparación con los adhesivos sintéticos que actualmente utilizan?

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un adhesivo ecológico mediante una serie de materiales naturales, el cual sirva como sustitución o alternativa viable y sostenible a los adhesivos sintéticos convencionales, reduciendo así el impacto negativo hacia el medio ambiente.

Objetivos específicos

1. Investigar y seleccionar materiales naturales adecuados para el desenvolvimiento del proyecto.

2. Diseñar un mejor adhesivo el cual exhiba propiedades de curado y facilidad de uso comparables a los adhesivos sintéticos en diversas aplicaciones.
3. Proponer un adhesivo que facilite la gestión de residuos al no contaminar los flujos de reciclaje de materiales como papel, cartón o plásticos.
4. Determinar qué combinación de ingredientes naturales (papa, vinagre, sal) ofrece la mejor fuerza de adhesión en materiales comunes como papel y cartón.
5. Verificar si el adhesivo ecológico se descompone más rápido que los pegamentos comerciales al contacto con el agua o en la tierra.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La relevancia de esta investigación radica en el efecto negativo en el medio ambiente por el uso de pegamentos convencionales; esto se debe a que la mayoría de estos adhesivos dentro de su composición química son derivados del petróleo y sustancias tóxicas que no son biodegradables. Estos, ampliamente utilizados en industrias, la educación, el hogar, la medicina y en un sinnúmero de otras áreas, generan residuos que tardan décadas en descomponerse, contribuyendo de tal forma a la contaminación del suelo, el agua y el aire.

Así mismo, durante su aplicación o procesos de secado, muchos pegamentos liberan compuestos orgánicos volátiles que afectan de forma directa la calidad del aire y pueden provocar efectos adversos en la salud humana, como reacciones alérgicas e irritaciones respiratorias.

Frente a esta problemática surge la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles que sean funcionales y respetuosas con el medio ambiente, en contraste, una elección no

dañina para los seres vivos. La creación de un pegamento ecológico a base de materiales naturales permitiría reducir el impacto ambiental, disminuir la exposición a químicos tóxicos y fomentar prácticas más responsables con el entorno.

A partir de esto, la investigación y desarrollo de un adhesivo adaptado a las necesidades del planeta representa una respuesta necesaria frente a los desafíos ambientales actuales, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y economía circular.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El desarrollo de un adhesivo ecológico a partir de recursos naturales para aplicaciones sustentables nace como una respuesta a la creciente preocupación por el impacto ambiental que generan los adhesivos sintéticos convencionales. Esta investigación va de la mano con los principios de la química verde y la economía circular, donde se busca brindar una alternativa viable y que sea respetuosa con el medio ambiente (ZDS Adhesive, 2025).

La problemática de los adhesivos sintéticos convencionales: un análisis profundo del impacto ambiental y en la salud

La presencia de los pegamentos o adhesivos sintéticos en la mayor parte de nuestra vida diaria, abarcando desde el empaquetado de alimentos hasta la manufactura industrial, ha producido una dependencia que ha facilitado muchos procesos, pero ha conllevado a una problemática ambiental que cada vez se hace más vista. La mayoría de estos adhesivos convencionales son productos que derivan del petróleo, lo que los hace una causa muy significativa en el ámbito de la sostenibilidad global. Esta problemática se manifiesta en distintos puntos críticos, generando un reto que demanda una respuesta urgente, creativa e innovadora.

Los desafíos clave asociados con los adhesivos sintéticos son complejos:

- Contaminación Ambiental y Persistencia en el Ecosistema: uno de los problemas más preocupantes del uso extendido de pegamentos sintéticos es su impacto devastador en el medio ambiente. Dada su composición, la mayoría de estos pegamentos no se descomponen de forma natural, lo que resulta en su persistencia en el planeta por cientos de años. Esta característica conduce a una acumulación masiva de residuos en vertederos, y lo que es aún más alarmante, en los ríos y mares, afectando directamente los ecosistemas acuáticos. La fragmentación de estos adhesivos en micropartículas incrementa exponencialmente su peligrosidad. Estas micropartículas tienen la capacidad de infiltrarse en la tierra y el agua, dañando de manera irreversible la biodiversidad y, consecuentemente, ingresando en la cadena alimentaria, lo que representa un riesgo para la salud humana (Illinois EPA, 2024; Microplastics Research | US EPA, 2024).
- Dependencia crítica de fuentes no renovables y contribución al cambio climático: la dependencia de fuentes no renovables constituye un pilar fundamental del problema asociado con los adhesivos sintéticos. La producción de estos adhesivos se basa en gran medida en recursos fósiles como el petróleo. La extracción y el procesamiento de estos recursos son intrínsecamente insostenibles, acelerando el agotamiento de reservas finitas y contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (UNEP, 2025). Esta liberación de gases agrava directamente el cambio climático, con sus consiguientes impactos globales como el aumento de temperaturas, fenómenos climáticos extremos y la acidificación de los océanos. Esta cadena de

producción, que va desde la extracción hasta el desecho, sirve como un recordatorio constante de la urgencia de transitar hacia alternativas más sostenibles.

- Toxicidad y riesgo para la salud humana y la calidad del aire interior: la preocupación por la toxicidad y el riesgo para la salud añade otra capa de complejidad al panorama de los adhesivos sintéticos. Muchos de estos adhesivos contienen o liberan Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) durante su aplicación y proceso de curado (Technical Overview Of Volatile Organic Compounds | US EPA, 2025). Estos compuestos, a menudo irritantes, alergénicos o incluso cancerígenos, impactan negativamente la calidad del aire interior y la salud de quienes los manipulan o se exponen a ellos de forma prolongada (NTP 164: Colas y Adhesivos. Tipos y Riesgos Higiénicos - PDF - Portal INSST - INSST, s. f.). La seguridad de los individuos y de los espacios habitables o laborales se ve comprometida, lo que subraya la urgencia de buscar soluciones más seguras y menos dañinas.
- Limitaciones en la gestión de residuos y el ciclo de reciclaje: la presencia de adhesivos sintéticos en productos compuestos representa un obstáculo considerable para los esfuerzos de reciclaje. Cuando los adhesivos sintéticos están presentes en materiales como papel, cartón o plásticos, dificultan en gran medida el proceso de reciclaje. El adhesivo puede contaminar el flujo de reciclaje o requerir procesos de separación complejos y costosos, lo que disminuye la eficiencia general del reciclaje y, en muchos casos, hace imposible la recuperación de materiales valiosos (Guía de Diseño Ecológico | Reciclaje de las Etiquetas, s. f.). Esto crea un cuello de botella significativo en la economía circular y contribuye directamente a la acumulación de

residuos que de otro modo podrían ser reutilizados, exacerbando el problema de la gestión de desechos.

La necesidad imperante y las ventajas ineludibles de los adhesivos ecológicos y sustentables

Frente a la problemática integral que presentan los adhesivos sintéticos, la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles que sean funcionales y respetuosas con el medio ambiente se vuelve no solo una opción, sino una exigencia (ZDS Adhesive, 2024). La creación de un pegamento ecológico a base de materiales naturales no solo permitiría reducir el impacto ambiental, sino también disminuir la exposición a químicos tóxicos y fomentar prácticas más responsables con el entorno. Este enfoque se alinea con los principios fundamentales de la química verde, que busca diseñar productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen el uso y la generación de sustancias peligrosas.

A pesar de la creciente conciencia ambiental, es importante reconocer que, aunque existen algunos adhesivos ecológicos en el mercado, su disponibilidad, costo y rendimiento para aplicaciones cotidianas aún no son plenamente competitivos con las opciones sintéticas. Esta situación genera una brecha notable entre la creciente necesidad de adhesivos sostenibles y la oferta de productos que cumplan con las expectativas de funcionalidad, facilidad de uso y accesibilidad para el consumidor promedio. Es precisamente en este punto donde el presente proyecto busca hacer una contribución significativa: cerrando esa brecha mediante el desarrollo de un adhesivo ecológico que sea una alternativa viable, efectiva y, sobre todo, accesible.

Los objetivos específicos que guían este proyecto y que demuestran las ventajas de un enfoque ecológico son:

- Investigar y seleccionar materiales naturales adecuados: esto implica una exploración de biomateriales que no solo sean renovables y biodegradables, sino que también presenten las propiedades químicas y estructurales idóneas para la adhesión. La elección de la papa, vinagre y sal, junto con otros componentes opcionales, es un claro ejemplo de este enfoque.
- Diseñar un adhesivo con propiedades de curado y facilidad de uso comparables: el éxito de un adhesivo ecológico radica en su capacidad de rendimiento. No basta con que sea "verde"; debe ser funcional y fácil de aplicar en diversas superficies, como papel, cartón y plástico, compitiendo con sus contrapartes sintéticas. Esto aborda directamente la pregunta de investigación sobre cómo la proporción de ingredientes influye en la adhesión y el tiempo de curado.
- Facilitar la gestión de residuos: un atributo clave de los adhesivos ecológicos es su capacidad para no contaminar los flujos de reciclaje de materiales valiosos como papel, cartón o plásticos. Esto simplifica el proceso de reciclaje y contribuye a la circularidad de los materiales, evitando los cuellos de botella actuales.
- Determinar la combinación óptima de ingredientes naturales para la fuerza de adhesión: mediante la experimentación, se buscará la formulación que ofrezca la mejor fuerza de adhesión en materiales comunes.
- Verificar la biodegradabilidad: un aspecto crucial es la capacidad del adhesivo ecológico para descomponerse más rápido que los pegamentos comerciales al contacto con el agua o en la tierra, lo que reduce su impacto a largo plazo en el ambiente. Esto está directamente relacionado con la problemática de la persistencia de los adhesivos sintéticos.

Recursos naturales como pilar del desarrollo de adhesivos ecológicos

La elección de recursos naturales como materia prima es la piedra angular del desarrollo de adhesivos ecológicos y sostenibles. La naturaleza ofrece una vasta y diversa gama de biomateriales con propiedades adhesivas inherentes que pueden ser aprovechados y, en muchos casos, mejorados mediante modificaciones sencillas. El proyecto en cuestión se enfoca en el uso de ingredientes específicos que reflejan esta filosofía:

- La papa: una fuente prometedora de almidón: la papa es un tubérculo abundante y de bajo costo, que constituye una fuente rica en almidón. Los almidones son polisacáridos complejos, constituidos por unidades de glucosa, que se encuentran en diversas plantas (maíz, yuca, patata, trigo). Estos biopolímeros poseen una estructura semicristalina que, al ser sometida a procesos de gelatinización (calentamiento en presencia de agua) o dextrinización (hidrólisis parcial), puede desarrollar excelentes propiedades adhesivas. Su cadena polimérica permite la formación de enlaces de hidrógeno con superficies celulósicas, característica fundamental para la adhesión a materiales como papel y cartón (Zhiguang et al., 2025; Gadhavé et al., 2017; Quimidroga, 2024). La gran ventaja del almidón radica en su biodegradabilidad, no toxicidad y su capacidad de obtenerse de fuentes renovables, lo que lo convierte en un sustituto ideal para los polímeros sintéticos (Henkel, s. f.; Quintero et al., 2020).
- Vinagre blanco (ácido acético): regulador del pH y agente coagulante: el vinagre blanco, cuyo componente principal es el ácido acético, juega un papel crucial en la formulación de adhesivos a base de almidón. Actúa como un regulador del pH, lo cual puede influir en la gelatinización del almidón y en la reactividad de los grupos hidroxilo presentes en su estructura. Además, en algunas formulaciones, el ácido

acético puede contribuir a la hidrólisis parcial del almidón, creando dextrinas con mayor pegajosidad. Su naturaleza ácida también puede servir como un agente coagulante en ciertos procesos, mejorando la viscosidad y las propiedades de curado del adhesivo (Pochteca & Pochteca, 2023).

- Sal (cloruro de sodio): modificador de propiedades reológicas y conservante: la sal, o cloruro de sodio, puede incorporarse en pequeñas cantidades en las formulaciones de adhesivos a base de almidón. Su función principal puede ser la de modificar las propiedades reológicas del adhesivo, es decir, su fluidez y viscosidad, lo que influye en la facilidad de aplicación. Adicionalmente, la sal puede actuar como un conservante natural, inhibiendo el crecimiento microbiano y extendiendo la vida útil del adhesivo, un aspecto crítico para su viabilidad comercial y su almacenamiento.
- Azúcar: potenciador de la adhesión y plastificante: una cucharadita de azúcar es un componente opcional cuyo propósito principal es mejorar la adhesión. El azúcar (sacarosa) es un disacárido que puede actuar como un plastificante natural en las formulaciones de almidón. Los plastificantes aumentan la flexibilidad y la pegajosidad de la película de adhesivo, permitiendo una mejor humectación de las superficies y una mayor capacidad de unión al secarse (Ceresana, 2022). Además, el azúcar puede formar puentes de hidrógeno adicionales con las superficies a unir, contribuyendo a la fuerza de adhesión.
- El bicarbonato de sodio: un recurso multifuncional para adhesivos ecológicos: el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) es un compuesto económico, no tóxico y abundante, ideal para mejorar formulaciones adhesivas sostenibles. Su función principal es estabilizar el pH, lo que favorece la integridad de biopolímeros sensibles como los

almidones (QPros, 2020; Vadequímica, 2024). Al reaccionar con ácidos, libera dióxido de carbono (CO₂), generando una acción espumante que permite modificar la porosidad y propiedades térmicas del adhesivo (Mexpolimeros, s.f.). También puede actuar como carga para controlar la viscosidad y reforzar la estructura del adhesivo (Homey Sealant And Adhesive, 2024). En ciertos sistemas, como los cianoacrilatos, acelera la polimerización, favoreciendo un curado rápido (Redalyc, 2015). Estas propiedades, junto con su bajo impacto ambiental, hacen del bicarbonato de sodio un aditivo clave en la producción de adhesivos biodegradables y responsables, alineados con los principios de la química verde (PCC Group, 2022; Higiaeco, s.f.).

La selección de estos materiales naturales refleja un compromiso con la minimización del impacto ambiental, utilizando recursos renovables y biodegradables. Este enfoque no solo aborda los problemas de sostenibilidad, sino que también ofrece un producto potencialmente más seguro y amigable para el usuario y el medio ambiente.

Propiedades deseadas y metodología rigurosa en el desarrollo de adhesivos ecológicos

El desarrollo de un adhesivo ecológico eficaz y competitivo no se limita únicamente a la selección de materias primas naturales; requiere una comprensión profunda y una evaluación rigurosa de sus propiedades fundamentales y un enfoque metodológico bien estructurado. Para que el adhesivo desarrollado sea una alternativa viable y efectiva, debe exhibir características de rendimiento comparables a las de los adhesivos sintéticos, al mismo tiempo que supera sus limitaciones ambientales.

Las propiedades clave que deben ser investigadas y optimizadas en este proyecto incluyen:

- Capacidad de adhesión y tiempo de curado: esta es la propiedad más crítica de cualquier adhesivo. La investigación se centrará en cómo la proporción de los ingredientes naturales (papa, vinagre, sal, azúcar) influye directamente en la capacidad de adhesión del pegamento ecológico en diversas superficies como papel, cartón y plástico (Magnabosco et al., 2024). La adhesión se refiere a la fuerza con la que el adhesivo se une a la superficie del sustrato, mientras que la cohesión se refiere a la fuerza interna del propio adhesivo. Se buscará una formulación que genere una fuerte unión con los materiales más comunes, ya que el proyecto busca una aplicación generalizada. Además, el tiempo de curado es vital para la eficiencia del proceso de aplicación. Un tiempo de curado adecuado es crucial para la viabilidad práctica del adhesivo, permitiendo que se manipulen las piezas unidas en un lapso razonable sin comprometer la resistencia final de la unión (Neus, 2022).
- Vida útil y resistencia a la humedad: la durabilidad del adhesivo es fundamental para su aplicación en diversas condiciones. Se investigará la vida útil del adhesivo ecológico, es decir, el tiempo que puede almacenarse antes de que sus propiedades adhesivas se degraden. Esto es particularmente importante para los adhesivos de base natural, que pueden ser más susceptibles a la degradación microbiana o a cambios en sus propiedades con el tiempo. Asimismo, la resistencia a la humedad es una propiedad crítica para muchas aplicaciones. Se analizará cómo el adhesivo a base de papa, sal y vinagre se comporta ante la exposición a distintas temperaturas y niveles de humedad a lo largo del tiempo, para asegurar que la unión sea robusta y duradera incluso en ambientes desafiantes (Dymax, s.f.).

- Percepción y aceptación del usuario final: más allá de las propiedades técnicas, la viabilidad comercial y la adopción del adhesivo ecológico dependerán en gran medida de la percepción y aceptación de los usuarios finales, ya sean consumidores individuales o industriales. Se buscará comprender sus expectativas respecto a las propiedades de uso (facilidad de aplicación, ausencia de olor desagradable, limpieza), el costo (competitividad frente a los adhesivos sintéticos) y, fundamentalmente, el impacto ambiental del adhesivo ecológico en comparación con los adhesivos sintéticos que utilizan actualmente. Esta retroalimentación cualitativa es crucial para afinar la formulación y la estrategia de comercialización del producto.

Aplicaciones sustentables y perspectivas futuras de los adhesivos ecológicos

El desarrollo de un adhesivo ecológico a partir de recursos naturales no es meramente un avance científico, sino una necesidad imperante para la construcción de una economía circular y una sociedad más sostenible (Henkel, 2022; Strengthening The Circular Economy Through Bio-based Adhesives - Renewable Carbon News, 2024). La relevancia de esta investigación radica en el efecto negativo en el medio ambiente por el uso de pegamentos convencionales, que en su mayoría son derivados del petróleo y sustancias tóxicas no biodegradables. Estos adhesivos, ampliamente utilizados en diversas industrias, la educación, el hogar, la medicina y un sinnúmero de otras áreas, generan residuos que tardan décadas en descomponerse, contribuyendo de esta forma a la contaminación del suelo, el agua y el aire. Además, durante su aplicación o procesos de secado, muchos pegamentos liberan compuestos orgánicos volátiles que afectan directamente la calidad del aire y pueden provocar efectos adversos en la salud humana, como reacciones alérgicas e irritaciones respiratorias (Technical

Overview Of Volatile Organic Compounds | US EPA, 2025; *NTP 164*: Colas y Adhesivos.

Tipos y Riesgos Higiénicos - PDF - Portal INSST - INSST, s. f.).

Por lo tanto, la creación de este adhesivo ecológico busca ofrecer una solución que aborde directamente estos problemas al:

- Reducir el impacto ambiental: al utilizar recursos renovables y biodegradables, se disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y se mitiga la acumulación de residuos plásticos y microplásticos en los ecosistemas (ZDS Adhesive, 2025).
- Disminuir la exposición a químicos tóxicos: un adhesivo libre de COVs y otras sustancias nocivas mejora la calidad del aire en interiores y protege la salud de los usuarios y los trabajadores (ZDS Adhesive, 2024).
- Fomentar prácticas más responsables con el entorno: la disponibilidad de una alternativa ecológica impulsa a las industrias y a los consumidores a adoptar hábitos más sostenibles, promoviendo la circularidad de los materiales y la reducción de la huella de carbono.

Las aplicaciones potenciales de un adhesivo ecológico son vastas y prometedoras, abarcando múltiples sectores:

- Industria del empaque: fundamental para la creación de empaques biodegradables y compostables, facilitando el reciclaje de cartones y papeles sin la contaminación de adhesivos sintéticos. Esto incluye cajas, bolsas de papel y envases de alimentos (Quimidroga, 2024).

- Sector maderero y mobiliario: un reemplazo para las colas de urea-formaldehído y melamina-formaldehído, que emiten formaldehído, un conocido carcinógeno (Gonçalves et al., 2021; ACS Publications, 2025). Los adhesivos ecológicos serían ideales para la fabricación de tableros de partículas, contrachapados y muebles.
- Artesanía y manualidades: Proporcionando pegamentos seguros y no tóxicos para el uso doméstico y escolar, especialmente importante para niños (Quimidroga, 2024)
- Industria textil y del calzado: Desarrollo de adhesivos para unir tejidos naturales y sintéticos, promoviendo la biodegradabilidad o el reciclaje de prendas y calzado al final de su vida útil.

Entonces, la investigación y desarrollo de un adhesivo ecológico adaptable a las necesidades del planeta representa una respuesta necesaria y urgente frente a los desafíos ambientales actuales, alineándose de manera fundamental con los objetivos globales de sostenibilidad y economía circular. El éxito de este proyecto no solo ofrecerá una solución innovadora a un problema persistente, sino que también sentará un precedente para futuras investigaciones en el campo de los materiales biobasados, impulsando un futuro más limpio y sustentable para las generaciones venideras.

METODOLOGÍA

El método utilizado a través de esta investigación fue mixto, ya que se buscaba explicar, comprobar, cualificar y cuantificar por qué o la naturaleza de los vínculos entre la información estructurada. Este trabajo fue realizado el lunes 16 de junio del año 2025 en un entorno doméstico adaptado a las necesidades del contexto, a través de un equipo conformado por cinco integrantes: Camila Marie Tejada Rodríguez, Elena María Ovalle De Moya, Marian

Paniagua Familia, Rosheli Castillo Mejía y Valentina Abigail Moronta Peralta. Todo esto junto al soporte y apoyo de la Dra. Joana Morey y la Ingeniera Sharon García.

Materiales

- 340 gr de papa
- Agua
- 15 ml de vinagre blanco (CH_3COOH)
- 1.8 gr de sal (NaCl)
- 16 gr azúcar
- 1.5 gr de bicarbonato de sodio (NaHCO_3)
- Utensilios:
 - Rallador o licuadora
 - Colador fino o paño limpio
 - Olla pequeña
 - Cuchara de madera o silicona
 - Frasco de vidrio con tapa (preferiblemente esterilizado)
- Extras opcionales:
 - Refrigeradora o congelador (para conservar)

PARTE EXPERIMENTAL

A partir de la logística y los materiales disponibles presentados con anterioridad, se optó por realizar el procedimiento en un entorno doméstico adaptado de manera cuidadosa a las necesidades de este trabajo experimental. Este espacio fue seleccionado por su accesibilidad y por permitir un ambiente controlado donde se pudieran llevar a cabo las etapas del experimento de forma segura, limpia y estructurada.

Durante el proceso, se tomaron medidas básicas de higiene y control, como el uso de utensilios esterilizados, agua potable, recipientes limpios y la manipulación con guantes en algunas fases. Se mantuvieron constantes importantes como las proporciones de ingredientes, el tiempo de cocción y las condiciones de almacenamiento, con el objetivo de garantizar la reproducibilidad de los resultados.

Esta etapa de la investigación representa un componente clave del proyecto, ya que aporta evidencia científica sobre la viabilidad y los beneficios de los compuestos ecológicos seleccionados. Asimismo, demuestra que la elaboración de adhesivos sostenibles puede realizarse fuera de un laboratorio, lo que aumenta el potencial de replicabilidad en contextos escolares, domésticos o comunitarios, fomentando así la apropiación del conocimiento y la aplicación práctica de alternativas más ecológicas.

PROCEDIMIENTOS

Procedimiento de extracción del almidón de la papa

1. Se pesaron aproximadamente 340 gramos de papa fresca.

2. Las papas fueron lavadas cuidadosamente con agua potable para eliminar impurezas, tierra y otros residuos superficiales.
3. Posteriormente, se procedió a pelarlas y rallarlas finamente utilizando un rallador metálico limpio.
4. La masa obtenida se transfirió a un recipiente grande, donde se le añadió agua limpia en cantidad suficiente para cubrir completamente el material.
5. La mezcla fue agitada manualmente durante varios minutos con el fin de favorecer la liberación del almidón de las células vegetales.
6. Se dejó en reposo durante 25 minutos, permitiendo que el almidón se dispersara en el medio acuoso.
7. El contenido fue filtrado utilizando una gasa y colador de malla fina, separando el líquido rico en almidón del residuo fibroso insoluble.
8. El líquido filtrado fue transferido a un recipiente de vidrio y dejado en reposo durante aproximadamente una hora, con el objetivo de permitir la sedimentación del almidón.
9. Una vez transcurrido el tiempo de reposo, se decantó cuidadosamente el sobrenadante, evitando remover el sedimento blanco depositado en el fondo del recipiente.
10. El almidón húmedo sedimentado fue recogido con espátula limpia y dispuesto en una bandeja extendida.

11. Para el proceso de secado, el almidón fue introducido en un horno a baja temperatura (aproximadamente 50 °C) para acelerar la evaporación del agua sin alterar la estructura del almidón.
12. Finalmente, una vez seco, se recogió el almidón en forma de polvo blanco, obteniendo un rendimiento aproximado de 30 a 40 gramos, correspondiente al contenido mínimo de almidón esperado (12%) en la masa fresca de papa utilizada.

Procedimiento de la elaboración del pegamento a base de papa

1. Preparación del almidón

- 1.1 Se pesaron **35 gramos de almidón de papa** previamente extraído y decantado.
- 1.2 El almidón fue mezclado con **150 mL de agua potable** hasta obtener una suspensión homogénea.

2. División y formulación de muestras

La suspensión se dividió en tres porciones iguales (aprox. 50 mL cada una) y se prepararon las siguientes formulaciones:

a) Mezcla control

- 50 mL de suspensión de almidón.
- 5 mL de vinagre blanco.
- 0.6 g de sal común.
- 3 gramos de azúcar blanca.

b) Mezcla con mayor cantidad de azúcar

- 50 mL de suspensión de almidón.
- 5 mL de vinagre blanco.
- 0.6 g de sal común.
- 10 gramos de azúcar blanca.

c) Mezcla con bicarbonato de sodio

- 50 mL de suspensión de almidón.
- 5 mL de vinagre blanco.
- 0.6 g de sal común.
- 3 gramos de azúcar blanca.
- 1.5 g de bicarbonato de sodio.

3. Cocción (gelatinización)

3.1 Cada mezcla se calentó por separado a fuego medio en olla de fondo grueso, removiendo constantemente para evitar grumos.

3.2 Se mantuvo la temperatura entre **70 °** y **80 °C** hasta alcanzar una consistencia viscosa y homogénea.

3.3 Se retiró del fuego y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

4. Envasado y almacenamiento

4.1 Cada mezcla fue dividida en dos partes iguales y almacenada en frascos de vidrio esterilizados con tapa hermética.

4.2 Las muestras se conservaron en dos condiciones diferentes:

- Refrigeración a 4 °C
- Ambiente aproximadamente 30 °C

5. Monitoreo y observaciones

Se realizó seguimiento visual y olfativo diario/semanal para evaluar cambios en olor, apariencia, textura y presencia de moho.

RESULTADOS

Durante la realización del experimento, se logró obtener una mezcla homogénea en todas las muestras desarrolladas, las cuales incluyeron una muestra control, una con adición de bicarbonato de sodio y otra con una mayor cantidad de azúcar. En cada caso, se observaron resultados positivos, ya que todas las variantes respondieron de manera efectiva al proceso de adhesión, tanto sobre superficies de papel como sobre cartón ligero.



Figura 1. Evaluación visual del poder adhesivo de las tres formulaciones del pegamento ecológico.

Al establecer una comparación con un pegamento convencional disponible comercialmente, se identificaron diferencias significativas en cuanto al tiempo de secado. Mientras que el pegamento comercial presentó un tiempo de secado promedio de 10 minutos, las muestras ecológicas mostraron tiempos más prolongados: la muestra control alcanzó la adhesión completa en aproximadamente 17 minutos, la muestra con azúcar en 38 minutos y la muestra con bicarbonato en 22 minutos. Esta diferencia sugiere una mayor lentitud en el secado del pegamento ecológico, lo cual podría considerarse una limitación dependiendo del uso que se le desee dar.

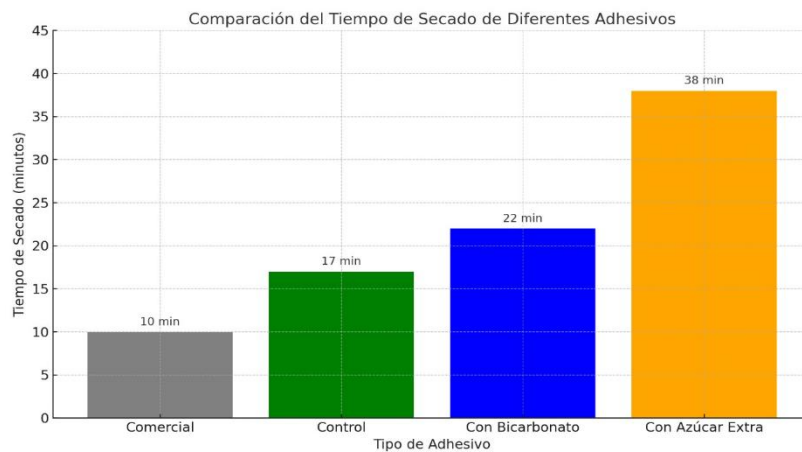


Figura 2. Comparación del tiempo de secado (en minutos) entre el pegamento comercial y las tres formulaciones ecológicas probadas.

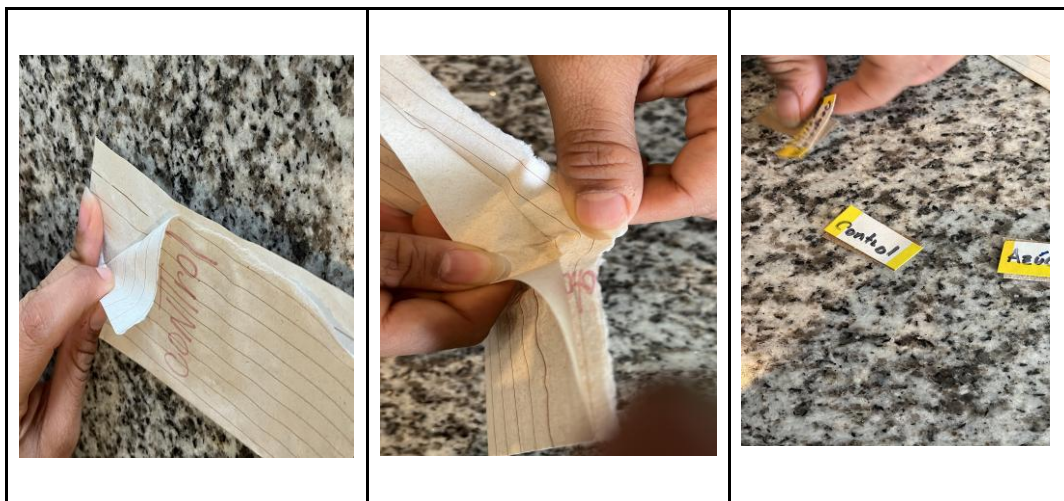


Figura 3. Resultados visuales de la aplicación y desempeño del pegamento ecológico sobre materiales escolares.

Asimismo, se realizó una observación prolongada durante el periodo de una semana para evaluar los cambios físicos y de comportamiento de las muestras en distintas condiciones de almacenamiento. La muestra control, mantenida en un recipiente cerrado y a temperatura ambiente, conservó en gran medida sus características originales: la textura, el olor y su capacidad adhesiva no presentaron alteraciones significativas. En cambio, la muestra con azúcar experimentó un cambio notable en su aspecto visual, adoptando un tono amarillento con el paso de los días. Por su parte, la muestra con bicarbonato modificó su textura, volviéndose más espesa y menos manejable.

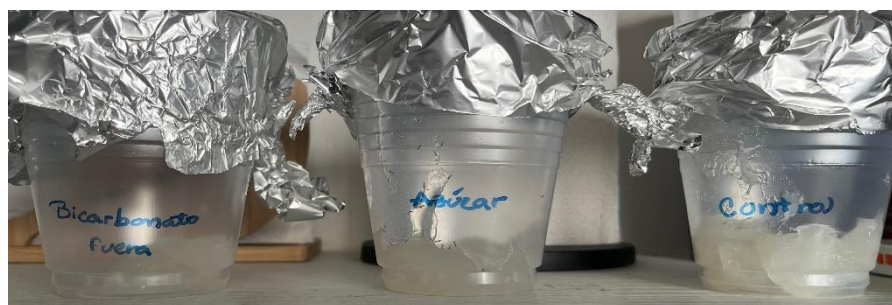


Figura 4. Resultados visuales de las pruebas de adhesión y conservación del pegamento ecológico, a temperatura ambiente.

En cuanto a las muestras conservadas en refrigeración con el objetivo de prolongar su vida útil, se observó que todas (control, azúcar y bicarbonato) se solidificaron y formaron sinéresis debido al almidón, tras varios días de almacenamiento. No obstante, a pesar de la solidificación, el olor original se mantuvo constante. Luego de ser expuestas nuevamente a temperatura ambiente y tras aplicar agitación mecánica, las mezclas recuperaron parcialmente su textura original, aunque sin regresar completamente a su estado inicial.



Figura 5. Cambios físicos observados en las muestras del adhesivo ecológico tras almacenamiento en refrigeración.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el pegamento ecológico representa una alternativa viable para actividades escolares e infantiles. Su eficacia como adhesivo en materiales como papel y cartón, sumado a su composición no tóxica y de bajo riesgo en caso de contacto accidental o ingesta, lo convierten en una opción segura y respetuosa con el medio ambiente. Aunque presenta ciertas limitaciones en cuanto al tiempo de secado y durabilidad bajo ciertas condiciones, sus ventajas lo hacen especialmente útil en contextos educativos donde la seguridad de los materiales es prioritaria.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de un adhesivo ecológico a partir de recursos naturales representa una respuesta innovadora y necesaria a la problemática ambiental y de salud pública asociada al uso generalizado de adhesivos sintéticos. A lo largo de este estudio, se ha evidenciado que la dependencia de pegamentos convencionales, derivados en su mayoría del petróleo, genera impactos negativos significativos, tales como la contaminación persistente en suelos y cuerpos de agua, la dificultad en la gestión de residuos y reciclaje, y la exposición a compuestos tóxicos que pueden afectar tanto al medio ambiente como a la salud humana.

A partir de la revisión de literatura y la experimentación realizada, se comprobó que es posible formular un adhesivo utilizando ingredientes naturales como la papa, el vinagre y la sal. El producto desarrollado demostró ser funcional para aplicaciones en superficies comunes como papel y cartón, cumpliendo con los objetivos específicos planteados en la investigación. Se observó que la proporción de los ingredientes tiene un efecto directo sobre la fuerza de adhesión y el tiempo de curado, lo que permite ajustar la formulación según las necesidades de uso. Además, el adhesivo ecológico mostró una biodegradabilidad superior frente a los pegamentos sintéticos, contribuyendo así a la reducción de residuos persistentes y facilitando la integración de los materiales en los flujos de reciclaje.

La investigación también permitió identificar que, aunque existen adhesivos ecológicos en el mercado, muchos de ellos presentan limitaciones en cuanto a disponibilidad, costo y rendimiento. El producto desarrollado en este proyecto contribuye a cerrar la brecha entre la necesidad de alternativas sostenibles y la oferta de productos que sean realmente funcionales, accesibles y respetuosos con el entorno. Si bien no se contó con una evaluación directa de la percepción de los usuarios finales, los resultados experimentales sugieren que el

adhesivo ecológico puede satisfacer los requerimientos básicos de funcionalidad y sostenibilidad, lo cual constituye un avance relevante en el campo de los materiales alternativos.

No obstante, el estudio también revela áreas de oportunidad para futuras investigaciones. Entre los aspectos a mejorar se encuentran la resistencia del adhesivo a la humedad, la optimización de su vida útil y la ampliación de su rango de aplicaciones a otros materiales más allá del papel y el cartón. Asimismo, sería pertinente realizar estudios adicionales sobre la percepción y aceptación de los usuarios, así como análisis de costo-beneficio y escalabilidad del proceso de producción, con el fin de facilitar la adopción del producto en contextos industriales, educativos y domésticos.

En síntesis, este proyecto aporta una alternativa viable y replicable para reducir el impacto ambiental de los adhesivos tradicionales, alineándose con los principios de la economía circular y la química verde. El desarrollo y la implementación de adhesivos ecológicos no solo representan un avance técnico, sino también un compromiso ético y social con la sostenibilidad y la salud pública.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para este proyecto son las siguientes:

- **Implementar la fórmula óptima:** Poner en práctica la mejor formulación del adhesivo de papa y validar su eficacia en escenarios de uso real.
- **Priorizar la sostenibilidad:** Asegurar que el adhesivo no solo sea funcional, sino que también contribuya a la reducción de residuos y a la facilidad de reciclaje.

- **Educar sobre los beneficios:** Promover el conocimiento sobre las ventajas ambientales y para la salud de los adhesivos ecológicos entre consumidores e industrias.
- **Considerar durabilidad:** Tener en cuenta la vida útil del adhesivo y su resistencia a factores como la humedad y la temperatura para un almacenamiento y uso efectivos.
- **Optimizar formulaciones:** Experimentar con nuevas proporciones de ingredientes y añadir componentes naturales para mejorar la fuerza, flexibilidad y resistencia del adhesivo en diversas superficies.
- **Evaluar resistencia:** Investigar a fondo la resistencia del adhesivo a diferentes niveles de humedad y temperaturas para garantizar su durabilidad.
- **Cuantificar biodegradabilidad:** Realizar pruebas para medir la velocidad de descomposición del adhesivo en distintos ambientes y compararla con los adhesivos comerciales.
- **Estudiar percepción del usuario:** Recopilar comentarios de usuarios de industrias específicas para adaptar el producto a las necesidades del mercado.
- **Analizar impacto en reciclaje:** Demostrar cómo el adhesivo ecológico afecta el proceso de reciclaje de materiales para respaldar su ventaja en la gestión de residuos.
- **Desarrollar producción a pequeña escala:** Investigar y establecer un protocolo para la producción en menor escala que facilite la replicación y posible comercialización.

REFERENCIAS

- ACS Publications. (2025, 14 de febrero). *Construction of eco-friendly and water-resistant peanut protein wood adhesives through multiple cross-linking strategies*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5c00100>
- Admin. (2024, 12 de agosto). *Ácido cítrico: un aditivo alimentario versátil y esencial*. *Niranbio Chemical*. <https://www.niranbio.com/es/acido-citrico-un-aditivo-alimentario-versatil-y-esencial.html>
- Ceresana. (2022, 19 de septiembre). *Aditivos en transición: nuevo informe de Ceresana sobre el mercado mundial de los plastificantes*. *Interempresas*.
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/395861-Aditivos-transicion-Nuevo-informe-Ceresana-sobre-mercado-mundial-plastificantes.html>
- Dávalos, A. D. (2023). *Síntesis de adhesivos sostenibles derivados de almidón y proteínas vegetales* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. CORE.
<https://core.ac.uk/download/pdf/599135808.pdf>
- Dymax. (s. f.). *¿Cómo afecta la humedad a un adhesivo curable por luz?* *Dymax*.
<https://es.dymax.com/recursos/noticias-y-medios/blog/adhesivos/c%C3%B3mo-afecta-la-humedad-a-un-adhesivo-curable-por-luz>
- Fundación Española del Aparato Digestivo. (2018, 4 de febrero). *Desarrollan plásticos adhesivos con propiedades antimicrobianas para reducir el riesgo de infecciones en hospitales*. <https://www.saludigestivo.es/desarrollan-plasticos-adhesivos-con-propiedades-antimicrobianas-para-reducir-el-riesgo-de-infecciones/>

- Gadhave, R. V., Mahanwar, P. A., & Gadekar, P. T. (2017). *Starch-Based Adhesives for Wood/Wood Composite Bonding: Review*. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 7(2), 19–32. <https://doi.org/10.4236/ojpchem.2017.72002>
- Gómez-Contreras, P., Figueroa-Lopez, K. J., Hernández-Fernández, J., Rodríguez, M. C., & Ortega-Toro, R. (2021). Effect of different essential oils on the properties of edible coatings based on yam (*Dioscorea rotundata* L.) starch and its application in strawberry (*Fragaria vesca* L.) preservation. *Applied Sciences*, 11(22), Article 11057. <https://doi.org/10.3390/app112211057>
- Gonçalves, D., Bordado, J. M., Marques, A. C., & Santos, R. G. D. (2021). Non-formaldehyde, bio-based adhesives for use in wood-based panel manufacturing industry—A review. *Polymers*, 13(23), Article 4086. <https://doi.org/10.3390/polym13234086>
- GMP SRL. (2018, 24 de enero). Desarrollan plásticos adhesivos con propiedades antimicrobianas para reducir riesgo de infecciones. <https://gmprsrl.com.ar/desarrollan-plasticos-adhesivos-con-propiedades-antimicrobianas-para-reducir-el-riesgo-de-infecciones/>
- Guamán Bravo, J. M. (2019). *OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARAS DE PAPA PARA SU APLICACIÓN INDUSTRIAL*. <file:///Users/elenaovalledm/Downloads/234582586.pdf>
- Henkel. (2022, 11 de mayo). Adhesivos como facilitadores del diseño sustentable. *Henkel Adhesives*. <https://www.henkel-adhesives.com/gt/es/insights/all-insights/blog/sustainable-materials-in-personal-hygiene.html>
- Henkel. (s. f.). *Almidón de papa*. Mundo de Investigadores. <https://www.mundodeinvestigadores.com/experimentos/adhesivos/almidon-de-papa>

- Henkel México. (s.f.). *El poder de los ingredientes naturales*. Pritt.
<https://www.prittworld.com.mx/sustentabilidad/poder-de-ingredientes-naturales.html>
- Higiaeco. (s.f.). *¿Es un producto sostenible el bicarbonato sódico?* Recuperado de
<https://www.higiaeco.es/blog/es-un-producto-sostenible-el-bicarbonato-sodico>
- Homey Sealant And Adhesive. (2024). *¿Qué hace agregar bicarbonato de sodio al superpegamento?* Recuperado de <https://homeycons.com/es/que-hace-agregar-bicarbonato-de-sodio-al-superpegamento/>
- Illinois EPA. (2024, 27 de septiembre). *Microplastics*.
<https://epa.illinois.gov/topics/water-quality/microplastics.html>
- Labelys España. (s. f.). *Guía de diseño ecológico | Reciclaje de las etiquetas*.
<https://labelys.es/es/guia-diseno-ecologico-y-reciclaje-de-las-etiquetas-adhesivas.html>
- Liang, X., Hu, Q., & Zhang, Q. (2023). Enhanced compatibility and toughness of PLA/PBS blends using reactive compatibilizers. *Polymer Engineering & Science*, 63(2), 261–271. <https://doi.org/10.1002/pen.27077>
- Magnabosco, A., Kulyk, I., Avancini, M., Šket, P., Eckardt, J., Cesprini, E., Marinello, F., & Tondi, G. (2024). Optimization of starch–tannin adhesives for solid wood gluing. *Polymers*, 16(12), Article 1694. <https://doi.org/10.3390/polym16121694>
- Mexpolimeros. (s.f.). *Agente espumante*. Recuperado de
<https://www.mexpolimeros.com/foaming%20agent.html>
- Nacari, M. (2024, enero – junio). *Diseño y evaluación de adhesivos a partir del almidón de tubérculos de Panamá* [Revista de Iniciación Científica].
- Neus. (2022, 18 de octubre). *¿Qué es el tiempo de curado de un adhesivo?* *Adhesivos Gracol*. <https://www.gracoladhesivos.com/conoce-que-es-el-tiempo-de-curado-de-un-adhesivo/>

- NTP 164: Colas y adhesivos. Tipos y riesgos higiénicos. (s. f.). *Portal INSST*.
<https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/5-serie-ntp-numeros-156-a-190-ano-1986/ntp-164-colas-y-adhesivos.-tipos-y-riesgos-higienicos>
- Núñez, D., & Fernández, J. (2008). Evaluación del comportamiento de adhesivos estructurales para madera en la construcción. *Información tecnológica*, 19(1), 25–32.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642008000100004&tlng=pt
- PCC Group. (2022). *Bicarbonato de sodio – propiedades y aplicaciones*. Recuperado de <https://www.products.pcc.eu/es/blog/bicarbonato-de-sodio-propiedades-y-aplicaciones/>
- Pochteca. (2023, 6 de septiembre). *Ácido acético: un producto, múltiples usos*. Grupo Pochteca. <https://mexico.pochteca.net/acido-acetico/>
- Qian Y, Dai X. Ecological glue for traditional furniture: Optimization of the handicraft for making fish glue. *PLoS One*. 2024 Aug 29;19(8):e0307974. doi: 10.1371/journal.pone.0307974. PMID: 39208199; PMCID: PMC11361600.
- Quimidroga. (2024, 5 de julio). *Almidones para adhesivos*.
<https://www.quimidroga.com/materias-primas-adhesivos/almidones-para-adhesivos/>
- Quintero, M. E. M., Barbuena, J. C. G., R., B. G. G., & Pérez, F. y S. (2020). *DEXTRINA y PECTINA extraídas de desechos de origen vegetal y su uso como aditivo para pegamento*. *Redalyc*.
<https://www.redalyc.org/journal/4263/426364517003/html/>

- QPros. (2020). *Bicarbonato de sodio como regulador de acidez, antiaglomerante y estabilizante - Parte 2*. Recuperado de <https://qpros.co/bicarbonato-de-sodio-como-regulador-de-acidez-antiaglomerante-y-estabilizante-parte-2/>
- Redalyc. (2015). *2-octilcianoacrilato y bicarbonato de sodio para osteosíntesis de arco cigomático. Un modelo animal*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4577/457745505005.pdf>
- Renewable-Carbon.eu. (2024, 11 de diciembre). *Strengthening the circular economy through bio-based adhesives*. Renewable-Carbon.eu. <https://renewable-carbon.eu/news/strengthening-the-circular-economy-through-bio-based-adhesives/>
- UNEP. (2025, 26 de marzo). *Plastic Pollution*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/plastic-pollution>
- Universidad de América. (s.f.). *Adhesivos con base en fuentes renovables*. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6b04e7b7-e287-4933-9d25-c50edfb7dfc4/content>
- US EPA. (2024, 22 de julio). *Microplastics Research*. <https://www.epa.gov/water-research/microplastics-research>
- US EPA. (2025, 24 de febrero). *Technical Overview of Volatile Organic Compounds*. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>
- Vadequímica. (2024). *Cómo el bicarbonato de sodio modifica el pH en diferentes industrias*. Recuperado de <https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/ph-del-bicarbonato-de-sodio.html>
- (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=qlZipFp5Yz8>

- ZDS Adhesive. (2024, 17 de diciembre). *El auge de los adhesivos ecológicos*. ZDS Adhesive. <https://www.zdschemical.com/es/blog/the-rise-of-eco-friendly-adhesives/>
- ZDS Adhesive. (2025, 13 de abril). *Adhesivos ecológicos: fabricación más ecológica para un futuro sostenible*. ZDS Adhesive. <https://www.zdschemical.com/es/blog/eco-friendly-adhesives-manufacturing-greener-future/>
- Zhiguang, C., Haixia, Z., Min, C., Fayong, G., & Jing, L. (2025). The fine structure of starch: A review. *NPJ Science of Food*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00414-x>

ANEXOS

