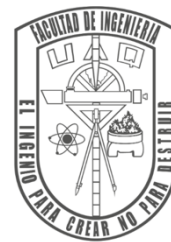




Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería



Material alternativo a base de orujo de uva con aplicación en la industria alimentaria

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ingeniería de Calidad y Productividad

Presenta:

Ing. Linneth Alejandra Paredes Zitácuaro

Dirigido por:

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez

Querétaro, Qro, Septiembre 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

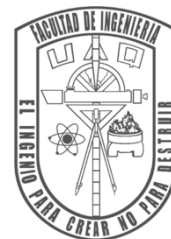
Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería



Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

Material alternativo a base de orujo de uva con aplicación en la industria alimentaria

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ingeniería de Calidad y Productividad

Presenta:

Ing. Linneth Alejandra Paredes Zitácuaro

Dirige:

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez

Presidenta

Dr. Eric Leonardo Huerta Manzanilla

Secretario

Dra. Ma Sandra Hernández López

Vocal

Dr. Aldo Amaro Reyes

Suplente

Dr. Ángel Ramón Flores Sosa

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

26 de septiembre de 2025

Dedicatorias

A mis padres, Sergio Paredes Cruz y Julieta Zitácuaro Cortés, quienes han sido mi ejemplo de constancia, entrega y fortaleza.

Su apoyo incondicional ha sido clave para superar cada desafío.

Gracias a su esfuerzo, cada paso de este recorrido se convirtió en un logro compartido.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro por el respaldo económico otorgado tanto a este proyecto como a mi formación académica.

A mi directora de tesis, la Dra. Magdalena Mendoza Sánchez, por su apoyo constante y la forma en que siempre me escuchó y orientó. Su interés y acompañamiento hicieron que este camino fuera más llevadero y lleno de motivación. Gracias a su respaldo, pude avanzar con confianza y alcanzar la meta de este trabajo.

A todo mi sínodo, por su tiempo y disposición incondicional para ayudarme a superar diversos retos. Su profesionalismo fue inspirador durante todo este proceso.

Índice general

Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	x
Abstract.....	xi
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	2
2.1 Plásticos de un solo uso: Producción, residuos y disposición final.....	2
2.2 Subproductos agroindustriales.....	3
2.2.1 Industria vitivinícola y el orujo de uva	4
2.2.2 Polisacáridos de residuos agroindustriales para nuevos material	5
III. Fundamentación teórica.....	6
3.1 Polisacáridos.....	7
3.2 Proteínas	7
3.3 Interacciones polisacárido-proteína.....	8
3.4 Plastificantes	9
3.5 Moldeo por solución (Solution Casting)	10
IV. Planteamiento del problema	11
V. Justificación	12
VI. Hipótesis	13
VII. Objetivos.....	13
7.1 Objetivo general	13
7.2 Objetivos específicos.....	13
VIII. Metodología.....	14
8.1 Materiales	14

8.2	Preparación del orujo de uva	15
8.3	Pruebas iniciales y selección de materias primas	15
8.4	Diseño Factorial.....	16
8.5	Producción del material	16
8.6	Caracterización del material	16
8.6.1	Dureza.....	16
8.6.2	Solubilidad.....	17
8.6.3	Contenido de humedad	17
8.6.4	Biodegradabilidad.....	18
8.7	Análisis estadístico	18
8.8	Aplicación del material.....	18
8.8.1	Estudio de mercado	19
8.8.2	Estudio de la factibilidad económica.....	20
IX.	Resultados y discusión.....	20
9.1	Pruebas iniciales y selección de formulación base.....	20
9.2	Diseño factorial y producción del material.....	22
9.3	Caracterización del material a base de orujo de uva y grenetina.....	23
9.3.1	Dureza del material alternativo.....	23
9.3.1.1	Resultados experimentales	23
9.3.1.2	Modelo de regresión lineal y resultados estimados	24
9.3.2	Solubilidad y contenido de humedad del material alternativo	27
9.3.3	Biodegradabilidad del material alternativo.....	28
9.4	Aplicación del material.....	31
9.4.1	Comparación con materiales reportados en la literatura y materiales disponibles en el mercado.....	31
9.4.2	Resultados del estudio de mercado.....	34
9.4.3	Resultados factibilidad económica	39
9.5	Limitaciones del estudio	42

X.	Conclusión	43
XI.	Referencias	44
XII.	Anexos	58
12.1	Anexo 1: Tabla de todos los materiales obtenidos en las pruebas iniciales	58
12.2	Anexo 2: Encuesta en Google Forms	63
12.3	Anexo 3: Encuesta Focus group	70

Índice de tablas

Tabla 1.	Aplicación de subproductos agroindustriales en el desarrollo de materiales alternativos.....	5
Tabla 2.	Pruebas de formulación del material alternativo	15
Tabla 3.	Materiales obtenidos de las formulaciones iniciales	21
Tabla 4.	Configuración de las corridas experimentales	22
Tabla 5.	Decodificación de Niveles.....	22
Tabla 6.	Resultados experimentales de dureza	23
Tabla 7.	Resultados del modelo lineal para la variable de dureza.....	24
Tabla 8.	Análisis de varianza del modelo lineal	25
Tabla 9.	Resultados estimados de dureza	26
Tabla 10.	Resultados de solubilidad y contenido de humedad.....	27
Tabla 11.	Porcentaje de pérdida de peso de los nueve materiales en 45 días.....	29
Tabla 12.	Materiales biodegradables en la literatura y en el mercado.....	32
Tabla 13.	Todos los materiales obtenidos en las pruebas iniciales.....	58

Índice de figuras

Figura 1.	Componentes del orujo de uva. Modificado de Spinei y Oroian (2021).	4
Figura 2.	Estructura y enlaces intra e intercatenarios de la celulosa. Tomado de Suárez et al. (2022).....	7
Figura 3.	Estructura de la grenetina. Tomado de Romero-Mitre et al. (2020).	8

Figura 4. Organización estructural de la grenetina al enfriarse. Tomado de Goudie et al. (2023).....	8
Figura 5. Efecto del glicerol en matrices poliméricas. Tomado de Sunderman et al. (2018).	10
Figura 6. Proceso de moldeo por solution casting. Tomado de Flórez et al. (2023).	10
Figura 7. Diagrama general de la metodología. Autoría propia.	14
Figura 8. Focus group de la posible aplicación del material alternativo. Autoría propia....	20
Figura 9. Materiales resultantes de las corridas experimentales. Autoría propia.	23
Figura 10. Gráficas de residuos del modelo lineal. (a) probabilidad normal; (b) residuos contra valor ajustado. Autoría propia.	26
Figura 11. Cambios físicos de los materiales a los 5, 20 y 45 días. Autoría propia.....	28
Figura 12. Pérdida de peso de los materiales a lo largo de 45 días. Autoría propia.....	29
Figura 13. Proyección del comportamiento de degradación de M1 y M8. Autoría propia.	30
Figura 14. Aplicación de M8 en productos reales. Autoría propia.	31
Figura 15. (a) Intención de compra de cucharas; (b) Intención de compra de empaque para alimentos secos; (c) Intención de compra de un paquete de cucharas a \$30 MXN. Autoría propia.	37
Figura 16. Nube de palabras. (a) Razones por las que la biodegradabilidad influye en la decisión de compra; (b) Razones por las que los consumidores cambiarían sus hábitos. Autoría propia.....	38
Figura 17. Costo por pieza. Autoría propia.	40

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de solubilidad.....	17
Ecuación 2. Porcentaje contenido de humedad.	18
Ecuación 3. Porcentaje pérdida de peso.	18
Ecuación 4. Modelo lineal.	24

Abrebiaturas y siglas

CFU	Costo Fijo Unitario
CVU	Costo Variable Unitario
CTU	Costo Total Unitario
IBM SPSS	International Business Machines - Statistical Package for the Social Sciences
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIV	Organización Internacional de la Viña y el Vino
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PET	Tereftalato de Polietileno
PP	Polipropileno
PUSU	Plásticos de Un Solo Uso
TIR	Tasa Interna de Retorno
TREMA	Tasa de Rendimiento Mínima Aceptada
UAQ	Universidad Autónoma de Querétaro

Resumen

La contaminación plástica se destaca por ser uno de los desafíos más apremiantes que la sociedad debe afrontar. En respuesta a esta preocupación, el presente trabajo propone la valorización de los residuos agroindustriales de la industria vitivinícola para desarrollar un material alternativo a base de orujo de uva y grenetina. Se elaboraron nueve materiales con distintas proporciones de las materias primas utilizando el método de *solution casting*.

El material con niveles altos de orujo y grenetina alcanzó una dureza de 84.27 N, mientras que el material con niveles bajos registró 12.73 N. Esta diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la dureza, evidenció el potencial del material para ser adaptado a distintas aplicaciones. Por otro lado, la prueba de biodegradabilidad demostró que el material se degrada en tierra; al término de 45 días, los nueve materiales perdieron al menos 50 % de su peso inicial.

A partir del material alternativo se fabricaron cucharas, las cuales fueron evaluadas mediante un *focus group*, en el que el 86.7 % de los participantes manifestó una intención de compra positiva y el 63.3 % se mostró totalmente dispuesto a modificar sus hábitos de consumo y sustituir productos plásticos convencionales por alternativas elaboradas con orujo de uva y grenetina. Finalmente, se evaluó la factibilidad económica de la cucharas, resultando en una Tasa Interna de Retorno de 57 %, superior a la Tasa de Rendimiento Mínima Aceptada de 32.37 %, lo que indicó la rentabilidad del proyecto. Los hallazgos permiten concluir que el material formulado posee propiedades físicas adecuadas y un nivel de aceptación favorable por parte de los consumidores, lo que lo posiciona como una alternativa viable a los plásticos convencionales de un solo uso.

Palabras clave: *Orujo de uva, Grenetina, Material alternativo, Dureza, Biodegradabilidad, Aceptación del consumidor, Factibilidad económica*

Abstract

Plastic pollution stands out as one of the most pressing challenges society must face. In response to this concern, this study proposes the valorization of agro-industrial waste from the wine industry to develop an alternative material made from grape pomace and gelatin. Nine materials were produced with different proportions of raw materials using the solution casting method.

The material with high levels of grape pomace and gelatin reached a hardness of 84.27 N, while the one with low levels registered 12.73 N. This significant difference ($P \leq 0.05$) in hardness highlights the material's potential to be adapted for different applications. Additionally, the biodegradability test demonstrated that the material decomposes in soil; after 45 days, all materials lost at least 50 % of their initial weight.

Spoons were fabricated from the alternative material and evaluated through a focus group, in which 86.7 % of participants expressed a positive purchase intention, and 63.3 % were totally willing to modify their consumption habits and switch from conventional plastics to products made from the grape pomace–gelatin material.

Finally, the economic feasibility of the spoons was evaluated, resulting in an Internal Rate of Return of 57 %, surpassing the Minimum Acceptable Rate of Return of 32.37 %, indicating the project's profitability.

The findings lead to the conclusion that the formulated material possesses suitable physical properties and a favorable level of consumer acceptance, positioning it as a viable alternative to conventional single-use plastics.

Keywords: *Grape pomace, Gelatin, Alternative material, Hardness, Biodegradability, Consumer acceptance, Economic feasibility*

I. Introducción

La contaminación por plástico es un sello distintivo de la sociedad moderna, y, en términos de generación de residuos, representa uno de los desafíos más apremiantes que deben afrontarse en la actualidad; la producción acelerada y la acumulación desmedida de estos, han provocado serios daños ambientales (OECD, 2022). Investigadores han detectado plásticos en el fondo del mar, en la cumbre del monte Everest, en la nieve del Ártico, e incluso dentro del cuerpo humano (Stoett et al., 2024). Es por esto que generar estrategias que mitiguen esta problemática es una acción urgente.

Los plásticos de un solo uso juegan un papel importante, ya que representan aproximadamente un tercio de los residuos plásticos generados a nivel mundial (Borg et al., 2022). Estos productos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria debido a su bajo costo y a sus buenas propiedades mecánicas y de barrera (Surendren et al., 2022). No obstante, su vida útil es extremadamente corta, en muchos casos de apenas unos minutos, ya que se utilizan una sola vez antes de ser desechados (Borg et al., 2022). A pesar de su uso momentáneo, estos plásticos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años antes de degradarse, lo que los convierte en una fuente persistente de contaminación (Idris et al., 2023).

Por otro lado, la agroindustria alimentaria también genera una gran cantidad de residuos. Agroindustrias como la aguacatera (Dios Avila, 2023), azucarera (López et al., 2021) y vitivinícola (OIV, 2022) generan millones de toneladas de subproductos anualmente, los cuales con frecuencia terminan en vertederos o son incinerados (Abreu et al., 2024). No obstante, estos residuos poseen un alto potencial de aprovechamiento, ya que su valorización puede contribuir a la producción de materiales alternativos (Zuñiga-Martínez et al., 2022).

Actualmente diversas investigaciones están desarrollando materiales a partir de subproductos de la industria agroalimentaria. Estos materiales poseen características valiosas como ser renovables, biodegradables, no tóxicos y sostenibles (Arif et al., 2022). Se han empleado residuos como cáscaras de elote, plátano, papa, pitahaya, entre otros; sin embargo, aún existe poca información en la literatura sobre la producción de materiales a base de orujo de uva.

Una de las características que hacen propicios a los subproductos de la agroindustria para el desarrollo de materiales es su contenido de polisacáridos (Ozcan et al., 2024), los cuales, al

combinarse con componentes como agua o plastificantes, permiten la formación de redes estructurales capaces de dar forma a materiales funcionales (Hanani et al., 2014). En este sentido, el orujo de uva, subproducto de la industria vitivinícola, destaca por su elevado contenido de polisacáridos (Chakka et al., 2022), lo que lo convierte en un recurso prometedor para su incorporación en matrices poliméricas destinadas a la fabricación de materiales para uso alimenticio.

Por todo lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo formular un material a partir de orujo de uva, grenetina, glicerol y ácido acético; así como encontrar su posible aplicación en la industria alimentaria como alternativa sostenible al plástico convencional.

II. Antecedentes

2.1 Plásticos de un solo uso: Producción, residuos y disposición final

Pocos materiales han transformado la vida moderna como el plástico. Es un material de bajo costo, fácil procesamiento, capaz de adoptar múltiples formas con propiedades fisicoquímicas deseables (Islam et., 2024), lo que permite su aplicación en una amplia gama de sectores (Karimi et al., 2023). Los beneficios del plástico han impulsado un auge en su producción a nivel global durante los últimos 70 años, pasando de 1.5 millones de toneladas en 1950 a 460 millones de toneladas en 2019 (Okoffo et al., 2020; OCDE, 2022), lo que indica que el plástico se ha convertido en una parte esencial de la vida cotidiana (UNO environment programme, 2018).

Dentro de las aplicaciones más comunes del plástico destacan los productos denominados “de un solo uso”, los cuales son diseñados para cumplir una función específica y ser desechados tras un único uso (Chen et al., 2021). Los plásticos de un solo uso (PUSU) son ampliamente utilizados en la industria alimentaria, especialmente para contener alimentos y bebidas (Hau, 2024). Algunos ejemplos comunes incluyen botellas de agua y refresco, popotes, empaques de alimentos, así como platos y cubiertos desechables (Lindwall, 2024). Su producción es notable, ya que aproximadamente el 50 % de todo el plástico producido se destina a productos PUSU (Plastic Oceans, 2020). Esta producción sigue dependiendo en gran medida de fuentes fósiles. Las botellas de agua, por ejemplo, están hechas de tereftalato de polietileno (PET), mientras que los empaques de alimentos y los utensilios desechables se fabrican con polipropileno (PP) (Chen et al., 2021). En 2021, el 98 % de los PUSU

provinieron de recursos no renovables, lo que resultó en la emisión de 450 millones de toneladas de dióxido de carbono (Charles & Kimman, 2023).

El cambio en la tendencia de producción de plásticos duraderos hacia plásticos desechables, provocó la generación de 139 millones de toneladas de residuos PUSU en 2021. La empresa mexicana Alpek, S.A.B. de C.V. ocupó la décima posición entre los principales generadores de este tipo de residuo a nivel mundial (Charles & Kimman, 2023). Los productos PUSU, al terminar su breve vida útil, suelen terminar abandonados en el medio ambiente (Giacovelli et al., 2018), donde la exposición a condiciones naturales, como la radiación solar, humedad y acción de microorganismos, debilita su estructura, lo que provoca su fragmentación en partículas pequeñas conocidas como microplásticos. (Hale et al., 2020). Los materiales derivados de fuentes fósiles, como el PET y PP, pueden tardar cientos de años en degradarse (Idris et al., 2023). Por ejemplo, los cubiertos desechables pueden perdurar hasta 400 años, mientras que las botellas de agua y los empaques de alimentos 500 años (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). La diferencia entre el breve tiempo de vida útil y la prolongada permanencia de los plásticos en el entorno, subraya la urgencia de adoptar alternativas sostenibles.

2.2 Subproductos agroindustriales

Los residuos agroindustriales, también conocidos como subproductos, son los desechos que se generan durante la producción de alimentos y bebidas. Los subproductos pueden incluir cáscaras, semillas, hojas, tallos, aceites, pulpas, entre otros (Sani et al., 2023). La producción de este tipo de residuo es muy variable, por lo que es difícil obtener datos precisos de su generación a escala global (Romero, 2022).

Por su parte, México se sitúa en el décimo lugar a nivel mundial en la producción de alimentos y se caracteriza por generar una gran cantidad de residuos (Díaz, 2022). Por ejemplo, la industria aguacatera genera aproximadamente 460,000 toneladas de semillas de aguacate como subproducto (Dios Avila, 2023). Por otro lado, la industria azucarera produce 9 millones de toneladas de bagazo de caña en todo el país (López et al., 2021). En este contexto, la industria vitivinícola destaca como otra fuente relevante de subproductos agroindustriales.

2.2.1 Industria vitivinícola y el orujo de uva

La uva ocupa un lugar importante en los mercados globales ya que puede consumirse fresca o deshidratada, y también es empleada en la elaboración de vinagres, jugos y vinos (Wen et al., 2024). En el año 2021 se cosecharon más de 74 millones de toneladas de uva mundialmente, lo que resultó en la producción de 262 millones de hectolitros de vino (Crespo et al., 2023). La producción masiva de vino genera varios subproductos, el orujo de uva es uno de los mayoritarios. Este comprende del 20 al 35 % del peso de las uvas y está constituido principalmente de cáscara, raspón, semillas y otros sólidos generados tras el prensado (Spinei & Oroian, 2021), tal como se muestra en la Figura 1. La industria vitivinícola produce alrededor de 13 millones de toneladas de orujo de uva a nivel mundial; Italia, Francia y España son los principales productores (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2022).

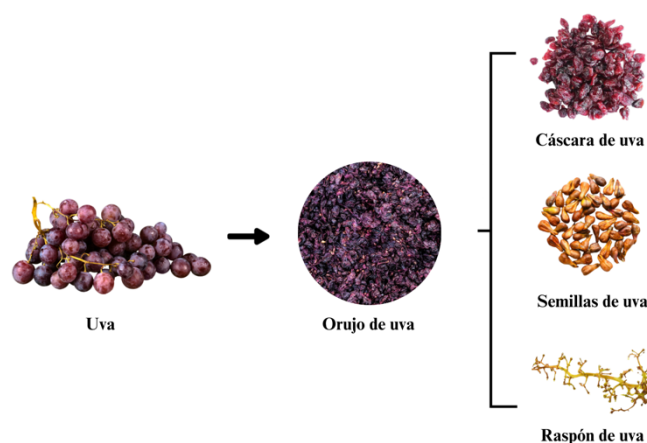


Figura 1. Componentes del orujo de uva. Modificado de Spinei y Oroian (2021).

El orujo de uva es un subproducto rico en compuestos bioactivos. Contiene principalmente polisacáridos, compuestos fenólicos, ácidos grasos, vitaminas y minerales (López et al., 2022). Los compuestos fenólicos son los más aprovechados debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Ferreira et al., 2024). A ellos se suman los ácidos grasos, valorados por sus beneficios cardioprotectores y anticancerígenos (Beres et al., 2017). En cambio, los polisacáridos del orujo, continúan siendo poco explotados a pesar de tener el potencial de crear materiales valiosos.

2.2.2 Polisacáridos de residuos agroindustriales para nuevos material

Los polisacáridos son biopolímeros orgánicos que se encuentran de forma natural en las frutas y hortalizas (Ozcan et al., 2024). Entre ellos, la celulosa, la pectina y el almidón han sido ampliamente utilizados en investigaciones sobre la producción de materiales debido a su abundancia, biodegradabilidad, no toxicidad y bajo costo (Gamage et al., 2024). Los polisacáridos crean redes moleculares estables debido a las interacciones entre sus moléculas (Mederos et al., 2020). Estas redes generan matrices que proporcionan rigidez y estructura a los materiales. De acuerdo con el estudio de Spinei y Oroian (2021), la cáscara del orujo de uva contiene polisacáridos que incluyen pectina, lignina, celulosa y hemicelulosa. La Tabla 1 detalla diferentes subproductos que han sido utilizados en la producción de materiales alternativos, incluye el polisacárido aprovechado, la aplicación dada y los resultados obtenidos.

Tabla 1. Aplicación de subproductos agroindustriales en el desarrollo de materiales alternativos

Subproducto	Polisacárido	Aplicación	Resultado	Referencia
Semilla de aguacate	Almidón	Cubiertos desechables	Presentan fuerza y estabilidad. Excelentes para alimentos fríos y calientes	Biofase, n.a
Tallo de piña	Amilosa	Capa de recubrimiento para frutas	La película mostró la capacidad de ralentizar el proceso de maduración de los plátanos y prolongar su vida útil una semana	Bumrungnok et al., 2023
Cáscara de elote	Hemicelulosa	Empaque para hamburguesas	Buena flexibilidad, no se rompe ni se modifica estructuralmente	Castaño et al., 2021

Semilla de níspero	Almidón	Empaque activo	El empaque prolongó seis días el período de almacenamiento de las fresas	Costa et al., 2023
Cáscara de plátano	Almidón	Película de empaque	Prolongó la vida útil del pan diez días	Chandrasekar et al., 2023
Cáscara de papa	Celulosa	Empaque activo	El empaque prolongó la vida útil de los camarones dos meses	Shruthy et al., 2020

Se han realizado diversos estudios sobre el desarrollo de materiales que ofrecen alternativas a los plásticos convencionales. Sin embargo, existe poca información en la literatura sobre la producción de materiales a base de orujo de uva, lo que representa una oportunidad para desarrollar aplicaciones innovadoras de este subproducto. El orujo de uva podría utilizarse como materia prima para crear productos como empaques de alimentos y utensilios desechables, esto tendría el potencial de reducir la dependencia de plásticos de un solo uso provenientes de fuentes fósiles y disminuir la cantidad de residuos generados por la industria vitivinícola.

III. Fundamentación teórica

Para elaborar un material biodegradable se necesita un solvente, un plastificante y al menos un agente formador (Hanani et al., 2014). Los solventes más utilizados son agua y alcohol (Erkmen & Barazi, 2018), mientras que los plastificantes preferidos incluyen glicerol y sorbitol (Hanani et al., 2014). Por otro lado, los agentes formadores más comunes son los polisacáridos, como el almidón y la celulosa, junto con las proteínas como el colágeno y la grenetina (Dzeikala et al., 2024). Los agentes formadores pueden emplearse de manera individual o combinarse con otros para mejorar las propiedades de los materiales. Las combinaciones más frecuentes son grenetina/quitosano, almidón/grenetina, grenetina/celulosa y pectina/grenetina (Suderman et al., 2018).

3.1 Polisacáridos

Los polisacáridos son biopolímeros formados por múltiples unidades de monosacáridos, generalmente diez o más, unidos entre sí mediante enlaces glucosídicos (Díaz-Montes, 2022). Debido a sus excelentes propiedades estructurales, han sido ampliamente utilizados en la formación de diversos materiales (Bealer et al., 2020). La Figura 2 muestra la estructura de la celulosa, el polisacárido más abundante en la naturaleza. Este polisacárido estructural está formado por una cadena lineal de glucosa unida mediante enlaces β -(1-4) (Díaz-Montes, 2022).

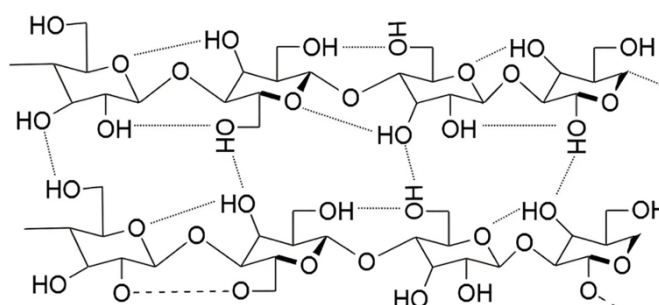


Figura 2. Estructura y enlaces intra e intercatenarios de la celulosa. Tomado de Suárez et al. (2022).

Además de los enlaces glucosídicos, los monómeros de celulosa se enlazan entre sí a través de puentes de hidrógeno intracatenarios (dentro de la misma cadena) e intercatenarios (entre cadenas diferentes). Estas interacciones contribuyen a la formación de una estructura altamente ordenada, creando una red tridimensional compacta que otorga resistencia y soporte a los materiales (Díaz-Montes, 2022).

3.2 Proteínas

Las proteínas son biopolímeros formados por cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos (Hanani et al., 2014). Entre las diferentes proteínas empleadas en el desarrollo de materiales, la grenetina destaca por sus propiedades gelificantes y estructurales (Derkach et al., 2022). La grenetina se obtiene del colágeno presente en los subproductos generados durante el procesamiento de animales. (Hanani et al., 2014). La Figura 3 muestra un

segmento de una cadena polipeptídica representativa de la grenetina, la cual está compuesta por una mezcla de cadenas tipo α , β y γ (Goudie et al., 2023).

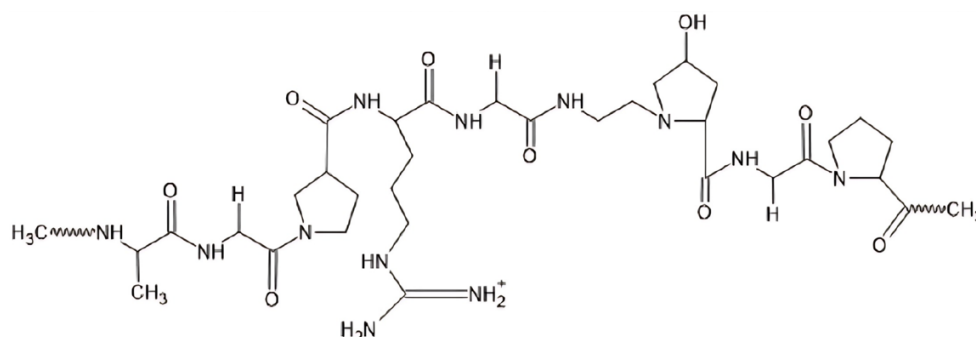


Figura 3. Estructura de la grenetina. Tomado de Romero-Mitre et al. (2020).

La grenetina se disuelve en agua cuando la temperatura supera los 30 °C; al enfriarse, las moléculas experimentan una reorganización estructural que favorece su interacción. Este proceso da lugar a una red con estructura helicoidal, la cual se mantiene unida mediante enlaces no covalentes, como se muestra en la Figura 4. Dicha red funciona como una matriz en la formación de geles, lo que resulta esencial para su aplicación en el desarrollo de materiales alternativos (Goudie et al., 2023).

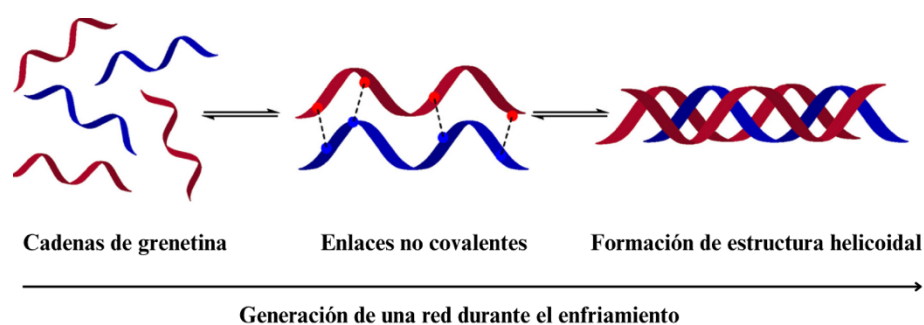


Figura 4. Organización estructural de la grenetina al enfriarse. Tomado de Goudie et al. (2023).

3.3 Interacciones polisacárido-proteína

Las interacciones entre polisacáridos y proteínas permiten la obtención de materiales alternativos con propiedades mejoradas (Asiyanbi et al., 2017). Estas interacciones

moleculares ocurren mediante enlaces no covalentes, como puentes de hidrógeno, fuerzas electrostáticas, efectos hidrofóbicos y reorganización estructural (Babu et al., 2024; Thivya et al., 2024). Los biopolímeros involucrados, junto con factores externos como temperatura, presión y pH, influyen en la estabilidad de las interacciones (McClements, 2006).

Thivya et al (2024) describen las interacciones moleculares de la siguiente manera:

- Puentes de hidrógeno: tanto las proteínas como los polisacáridos tienen grupos funcionales que permiten formar puentes de hidrógeno. Los grupos hidroxilo en los polisacáridos pueden formar enlaces con las cadenas laterales de los aminoácidos en las proteínas. Estos enlaces contribuyen a la estabilidad estructural de los materiales.
- Fuerzas electrostáticas: los polisacáridos poseen cargas negativas que interactúan con las cargas positivas de las proteínas. Estas fuerzas promueven la cohesión interna del material y facilitan la adhesión entre sus componentes a nivel molecular.
- Efectos hidrofóbicos: las proteínas presentan áreas con características hidrofóbicas que pueden unirse a regiones similares en los polisacáridos. Estas uniones generan fuerzas de Van der Waals que favorecen la compatibilidad entre los componentes.
- Reorganización estructural: la interacción entre proteínas y polisacáridos puede provocar que ambas moléculas alteren su estructura. Las proteínas pueden modificar su forma para encajar de manera más eficiente con las cadenas polisacáridas, lo que mejora las propiedades del material formado.

3.4 Plastificantes

Los plastificantes son compuestos de baja volatilidad que se añaden a los materiales biopoliméricos con el fin de modificar su flexibilidad (Hanani et al., 2014). El glicerol, uno de los plastificantes más empleados, posee un bajo peso molecular que le permite insertarse con facilidad entre las cadenas poliméricas presentes en las matrices de polisacáridos y proteínas.

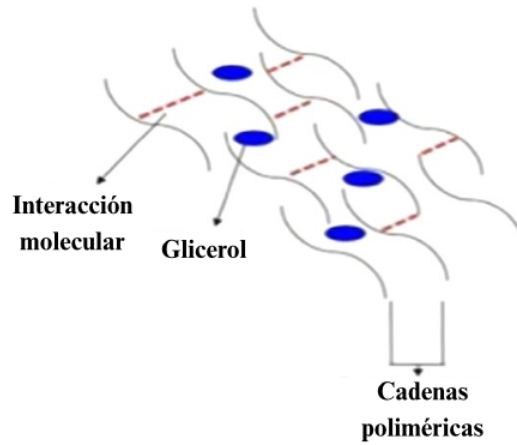


Figura 5. Efecto del glicerol en matrices poliméricas. Tomado de Sunderman et al. (2018).

Tal como se muestra en la Figura 5, esta inserción incrementa la distancia entre las cadenas, debilitando las interacciones moleculares y favoreciendo la creación de materiales más flexibles (Suderman et al., 2018).

3.5 Moldeo por solución (Solution Casting)

El moldeo por solución (solution casting) es un método frecuentemente empleado en la fabricación de materiales a partir de subproductos agroindustriales debido a su bajo costo y facilidad de implementación (Lu et al., 2022). Esta técnica, como se muestra en la Figura 6, implica la disolución de biopolímeros en un solvente volátil, como agua o alcohol. La solución obtenida se vierte sobre una superficie plana o en un molde, y se deja secar bajo condiciones controladas hasta la completa evaporación del solvente. Esto da lugar a una matriz polimérica que se retira del molde con facilidad (Borbolla-Jiménez et al., 2023). A pesar de su practicidad y que no requiere equipos especiales, la limitación principal de este método es que restringe la forma del producto final, el cual suele presentarse en láminas o en estructuras con geometrías simples (Flórez et al., 2023).

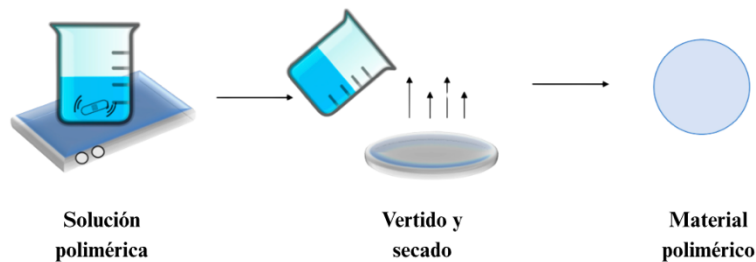


Figura 6. Proceso de moldeo por solution casting. Tomado de Flórez et al. (2023).

IV. Planteamiento del problema

El desecho de plásticos en México representa un desafío ambiental significativo. En 2021, el país produjo aproximadamente 6,000 toneladas de residuos plásticos de un solo uso (Secretaría de Medio Ambiente, 2021), siendo los empaques de alimentos los principales productos desechados. Este tipo de residuo ha contaminado diversos ecosistemas del país, incluidas playas, islas e incluso áreas naturales protegidas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2023). La fauna que habita en estos entornos se ve afectada, ya que los plásticos pueden causarles asfixia o atragantamiento si tratan de ingerirlos. Los microplásticos, por su parte, representan un mayor riesgo, ya que son ingeridos accidentalmente por las especies (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2018). A lo largo de la cadena alimenticia, los microplásticos continúan su trayecto hasta llegar al ser humano, quién podría ingerir cerca de 2,000 partículas de microplásticos por semana, equivalentes a unos 21 gramos al mes (Secretaría de Medio Ambiente, 2021), lo que se ha asociado con posibles problemas de salud (World Economic Forum, 2024).

Otro desafío ambiental puede atribuirse a los desechos generados por la industria vitivinícola. En 2021, México se posicionó como el trigésimo sexto productor de vino a nivel mundial (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2022). Durante ese año el país cultivó 75,000 toneladas de uva, y Querétaro, con más de 260 hectáreas de viñedos, se posicionó como el sexto productor nacional, cultivando aproximadamente 3,000 toneladas de uva para la producción de vino, lo que resultó en la generación de 750 toneladas de orujo de uva (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Esta gran cantidad de residuos se elimina comúnmente mediante su disposición en vertederos o incineración. Cuando se deposita en vertederos, provoca impactos ambientales negativos, como la contaminación del suelo y de aguas subterráneas, la propagación de plagas en cultivos y la contaminación microbiana. Por otro lado, aunque la incineración puede prevenir infestaciones microbianas, esta práctica conlleva efectos adversos, ya que libera gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos al ambiente (Abreu et al., 2024).

La acumulación de residuos plásticos y agroindustriales refleja una inadecuada gestión de desechos y representa una amenaza creciente para los ecosistemas y la salud humana. Ignorar esta problemática podría intensificar las consecuencias ambientales, por lo que es

imprescindible fomentar soluciones que integren sostenibilidad, aprovechamiento de subproductos y reducción del impacto ambiental.

V. Justificación

El orujo de uva tiene el potencial de ser utilizado como materia prima en la creación de un material alternativo, ya que contiene polisacáridos similares a los de otros subproductos que han sido exitosos en la fabricación de materiales con aplicación en la industria alimentaria. El orujo de uva contiene entre un 9 y 11 % de fibra dietética soluble, dentro de la cual se incluye pectina (Chakka et al., 2022). Tien et al (2023) desarrollaron un material biodegradable a partir de pectina extraída de la cáscara de pitahaya con almidón de papa. De este material se generó una película con excelentes propiedades físicas y de barrera. Por otra parte, el orujo de uva presenta entre un 26 y 78 % de fibra dietética insoluble, compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa (Chakka et al., 2022). Adilah et al (2018) emplearon cáscara de mango, rica en celulosa, junto con grenetina para desarrollar un bioplástico con el potencial de fabricar un empaque activo. Los resultados de dicho estudio mostraron un material rígido, poco flexible y con propiedades antioxidantes. Además, el orujo de uva contiene lignina en una proporción que varía entre el 16.8 y 24.2 % (Spinei & Oroian, 2021). Rai et al. (2024) desarrollaron una película a base de lignina extraída del bagazo de caña, la cual mostró actividad antimicrobiana y un alto potencial para fabricar empaques activos.

La gestión efectiva de los residuos plásticos y agroindustriales se alinea de manera directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de Naciones Unidas (ONU). Al priorizar la revalorización de los subproductos, se impulsa la producción y el consumo responsable (ODS 12). Al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la incineración de plásticos y subproductos, se contribuye a la acción frente al cambio climático (ODS 13). Finalmente, al prevenir la contaminación por microplásticos y otras sustancias derivadas de los residuos, se protege la vida en los ecosistemas terrestres (ODS 15) (Soares et al., 2024).

El orujo de uva ofrece una alternativa para la producción de un material biodegradable, su aprovechamiento contribuye directamente a la sostenibilidad ambiental. Al valorizar este subproducto, se promueve la economía circular y se ofrece una posible solución para mitigar el impacto de los plásticos y otros residuos agroindustriales.

VI. Hipótesis

El material elaborado a partir de orujo de uva y grenetina posee propiedades físicas adecuadas para la fabricación de empaques y cubiertos desechables con aplicación en la industria alimentaria, además, es soluble en agua y se degrada en suelo en menos de un año.

VII. Objetivos

7.1 Objetivo general

Diseñar un material biodegradable a partir de orujo de uva y grenetina con aplicación en la industria alimentaria como elemento alternativo a los PUSU convencionales.

7.2 Objetivos específicos

- Formular un material a partir de orujo de uva, grenetina, glicerol y ácido acético utilizando un diseño experimental factorial para optimizar su composición.
- Caracterizar el material evaluando su dureza, solubilidad en agua, contenido de humedad y biodegradabilidad.
- Determinar la aplicación del material en la industria alimentaria mediante el análisis de dureza y sensación al tacto, así como fabricar productos alternativos a los PUSU convencionales.
- Realizar el estudio de mercado del producto alternativo fabricado para validar su aceptación por el consumidor y determinar su factibilidad económica para definir la viabilidad del proyecto.

VIII. Metodología

La metodología de esta investigación, como se muestra en la Figura 7, inició con la obtención y preparación del orujo de uva. Posteriormente, se realizaron pruebas para seleccionar las materias primas a utilizar. Con la formulación seleccionada, se aplicó un diseño factorial para determinar las proporciones óptimas de cada componente. Se fabricó el material según el diseño experimental y se llevaron a cabo pruebas para evaluar la dureza, solubilidad, contenido de humedad y biodegradabilidad. Después de completar la caracterización, se definió y fabricó la posible aplicación del material en la industria alimentaria. Finalmente, se efectuó un estudio de mercado y se evaluó la factibilidad económica.

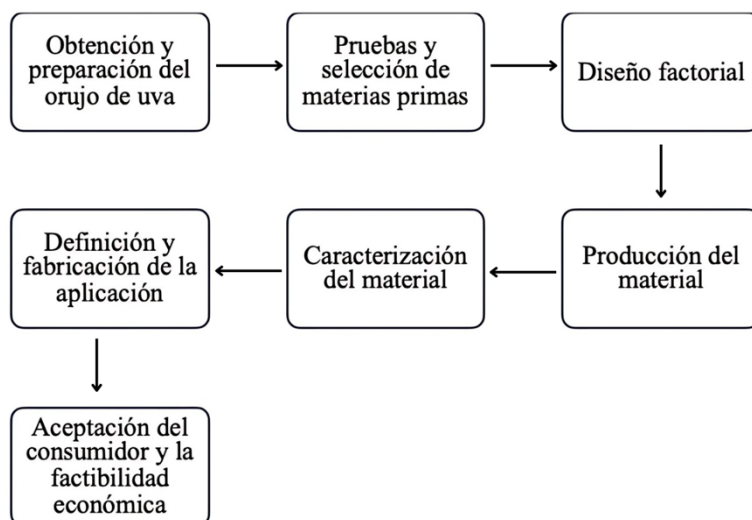


Figura 7. Diagrama general de la metodología. Autoría propia.

8.1 Materiales

El agua destilada fue suministrada por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), mientras que la grenetina, el glicerol y el ácido acético se adquirieron en un supermercado local.

8.2 Preparación del orujo de uva

El orujo de la variedad Tempranillo fue donado por Viñedos Azteca, una empresa mexicana ubicada en el estado de Querétaro dedicada a la cosecha de uva y la producción de vino. Como parte del proceso de vinificación, Viñedos Azteca desecha el orujo a campo abierto, motivo por el cual decidió donar este residuo. El orujo fue almacenado en la UAQ en un congelador a $-18 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ hasta su posterior uso. Una vez retirado del congelador, el orujo se dejó descongelar durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se secó en un horno de convección (Memmert, UFE 800, Alemania) a $61 ^\circ\text{C}$ durante 12 horas hasta alcanzar peso constante. El subproducto seco se pulverizó en un molino de café y se tamizó con una malla de tamaño 40. Finalmente, el polvo obtenido se almacenó en un lugar frío y oscuro.

8.3 Pruebas iniciales y selección de materias primas

A partir de una revisión de literatura, se seleccionaron las materias primas a probar considerando su aplicación en investigaciones previas. Como posibles agentes formadores se consideraron almidón, polvo de nopal y grenetina, mientras que como plastificante se eligió al glicerol. Con el propósito de identificar las combinaciones más adecuadas con el orujo de uva, se elaboraron diversas formulaciones.

Todas las mezclas contenían orujo de uva, ácido acético y agua destilada, aunque en diferentes proporciones. En cuanto al almidón, nopal, grenetina y glicerol, su incorporación y cantidad variaba entre las formulaciones. La Tabla 2 detalla las formulaciones, las materias primas empleadas y las cantidades utilizadas.

Tabla 2. Pruebas de formulación del material alternativo

Prueba	Agua destilada	Ácido acético	Orujo	Almidón	Nopal	Grenetina	Glicerol
	mL	mL	g	g	g	g	mL
P1	60	7.5	5	5	-	-	7.5
P2	60	7.5	10	3	-	-	7.5
P3	60	7.5	5	-	5	-	7.5
P4	60	7.5	10	-	3	-	7.5
P5	20	2.5	2.5	-	-	2.5	-

P6	20	2.5	2.5	5	-	2.5	4
P7	20	2.5	2.5	-	-	2.5	4
P8	20	2.5	2.5	-	-	-	4
P9	20	1.5	5	-	-	2.5	-
P10	50	1.5	5	5	-	2.5	2
P11	50	1.5	5	-	5	-	2
P12	20	1.5	5	-	-	2.5	1

8.4 Diseño Factorial

Se seleccionó una formulación de la Tabla 2 y se implementó un diseño factorial para determinar las proporciones de los componentes. El diseño consistió en dos factores (orujo de uva y grenetina), con tres niveles (-1, 0, 1) y tres réplicas. La cantidad de glicerol y ácido acético se mantuvo constante.

8.5 Producción del material

Se prepararon distintos materiales conforme al diseño factorial utilizando el mismo procedimiento: en 40 mL de agua destilada previamente llevada a ebullición, se disolvió la grenetina mediante agitación. Una vez completamente disuelta, se incorporaron el glicerol, el ácido acético y el orujo de uva. La mezcla resultante se aforó a 100 mL, manteniendo la agitación hasta obtener una solución homogénea. Posteriormente, la solución se vertió en un molde rectangular (20 x 90 x 2 mm) y en otro de forma cuadrada (20 x 20 x 2 mm). Tras la gelificación de la mezcla, se retiró de los moldes y se secó en un horno de convección (Froilabo, Air Expert AE60, Francia) a 80 °C durante 9 horas.

8.6 Caracterización del material

8.6.1 Dureza

Para asegurar una homogeneidad de humedad en los materiales fabricados, las muestras de forma rectangular (20 x 90 x 2 mm) se almacenaron durante 7 días en un desecador con sales de cloruro de sodio saturadas para mantener 70 % de humedad en el ambiente. Posteriormente, la dureza se evaluó con un texturómetro CT3 (AMETEK Brookfield, EE. UU); se realizó una prueba de corte utilizando una carga de activación de 0.5 N, velocidad

de 0.50 mm/s y una sonda TA7 (cuchilla). Los valores de dureza (N) se registraron automáticamente mediante el software del equipo. Finalmente, se ajustó un modelo de regresión lineal para evaluar la relación entre la composición del material y los valores de dureza obtenidos.

8.6.2 Solubilidad

Para evaluar la solubilidad se siguió el método propuesto por Riaz et al. (2024) con algunas modificaciones. Las muestras con forma cuadrada (20 x 20 x 2 mm) se secaron en un horno de convección (Froilabo, Air Expert AE60, Francia) a 100 °C durante 24 horas y se pesaron para registrar el peso inicial (W_i). Luego, se sumergieron en 50 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 24 horas. Tras este tiempo, los fragmentos se filtraron y se secaron nuevamente a 100 °C durante 24 horas para obtener el peso final (W_f). La solubilidad se calculó utilizando la Ecuación 1.

$$\% \text{ de solubilidad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de solubilidad.

8.6.3 Contenido de humedad

Para cada uno de los materiales, el contenido de humedad se determinó conforme a la norma PROY-NOM-211-SSA1-2002. Se prepararon cápsulas de porcelana, las cuales se secaron en horno de convección (Froilabo, Air Expert AE60, Francia) a 100 °C durante 2 horas, se enfriaron en desecador por 30 minutos y se pesaron (W_1). Luego, se pesaron 6 g de cada muestra y se colocaron en cápsulas individuales, registrando el peso (W_2). Las cápsulas con las muestras se secaron a 100 °C durante 4 horas. Finalizado el secado, se enfriaron nuevamente en desecador por 30 minutos y se pesaron por última vez (W_3). El contenido de humedad se reportó según la Ecuación 2.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

Ecuación 2. Porcentaje contenido de humedad.

8.6.4 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad de los materiales se evaluó siguiendo el método descrito por Verma et al (2024) con algunas modificaciones. Las muestras de forma cuadrada (20 x 20 x 2 mm) se secaron en un horno de convección (Froilabo, Air Expert AE60, Francia) a 100 °C hasta obtener un peso constante. Después, se enterraron en tierra agrícola a 7 cm de profundidad dentro de un recipiente de unicel. Durante 45 días, se mantuvieron a temperatura ambiente y se rociaron cada dos días para conservar una humedad relativa aproximada del 40 %. Cada cinco días, las muestras se desenterraron, se limpiaron y se secaron nuevamente en el horno a 100°C para registrar la pérdida de peso. La biodegradabilidad se calculó empleando la Ecuación 3. Donde W1 es el peso inicial de la muestra seca y W2 el peso al término de los 45 días.

$$\% \text{ de pérdida de peso} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Ecuación 3. Porcentaje pérdida de peso.

8.7 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como los valores promedio más las desviaciones estándar. Se realizó un análisis de varianza, seguido de una comparación de medias utilizando la prueba Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

8.8 Aplicación del material

Posterior a la caracterización de los nueve materiales, se eligió uno tomando en cuenta su dureza, apariencia y facilidad de manipulación durante el moldeado. Las posibles

aplicaciones del material seleccionado se definieron considerando la textura y la sensación de rigidez percibida al tacto. Además, se realizó una revisión de la literatura sobre materiales elaborados a partir de subproductos, así como una búsqueda de bioplásticos disponibles en el mercado, con el propósito de compararlos cualitativamente con el material desarrollado a partir de orujo de uva y grenetina.

8.8.1 Estudio de mercado

8.8.1.1 Encuesta: hábitos de consumo de PUSU convencionales y biodegradables

Se diseñó una encuesta para identificar hábitos de consumo. El instrumento consistió en un cuestionario de 23 preguntas de opción múltiple, distribuidas en secciones sobre datos demográficos, conocimiento de términos clave y hábitos de consumo de plásticos de un solo uso, tanto convencionales como biodegradables. La encuesta se implementó mediante la plataforma Google Forms y se distribuyó a una muestra de la población en general. La recolección de datos se realizó durante un periodo de dos semanas. El cuestionario aplicado se incluye en el Anexo 2.

8.8.1.2 Focus group: aceptación del material de orujo de uva y grenetina

Se realizaron dos sesiones de Focus group con la participación de 30 estudiantes de la UAQ: 15 de la Facultad de Artes y 15 de la Facultad de Ingeniería. El objetivo fue conocer su percepción sobre el material alternativo con posible aplicación en la industria alimentaria. A cada participante se le dió una cuchara elaborada con dicho material y un vaso con yogurt (Figura 8). Se les pidió observarla, tocarla, olerla y utilizarla para consumir el yogurt simulando un uso real. Al finalizar, respondieron una encuesta con escala de Likert de 5 puntos, en la que se evaluó la disposición de compra mediante seis ítems. Los resultados fueron analizados en el programa IBM SPSS, y se generó una nube de palabras para identificar las opiniones de los participantes. La encuesta se incluye en el Anexo 3.



Figura 8. Focus group de la posible aplicación del material alternativo. Autoría propia.

8.8.2 Estudio de la factibilidad económica

Se llevó a cabo un análisis de factibilidad económica que incluyó el cálculo de los costos fijos y variables, así como de los activos fijos necesarios para la producción de las cucharas. A partir de esta información, se determinó la inversión inicial y se consideró la opción de financiar el proyecto mediante un préstamo. Finalmente, se evaluó la viabilidad del proyecto con base en indicadores financieros que permitieron determinar la rentabilidad del emprendimiento.





IX. Resultados y discusión

9.1 Pruebas iniciales y selección de formulación base

En la fase inicial de esta investigación se desarrollaron distintas formulaciones (sección 8.3). En la Tabla 3 se presentan cuatro de los materiales obtenidos. La Tabla incluye una imagen por material, y una descripción basada en la evaluación visual y táctil. Los ocho materiales restantes se encuentran en el Anexo 1.

A diferencia del nopal y el almidón, cuya incorporación en la formulación no representó una mejora en las propiedades de los materiales, la grenetina y el glicerol demostraron ser componentes clave para mejorar la dureza y la flexibilidad. No agregar grenetina a la formulación dio lugar a materiales porosos y frágiles, mientras que la falta de glicerol resultó en materiales poco flexibles.

Tabla 3. Materiales obtenidos de las formulaciones iniciales

Prueba	Resultados	Figura
P1	Delgada y fácil de romper	
P4	Porosa y quebradiza	
P7	Muy flexible	
P12	Dureza alta	

Tras comparar los materiales en función de su apariencia y textura, se seleccionó la prueba 12 (P12) como la formulación base, ya que la muestra presentó la mayor dureza y una superficie lisa al tacto, características que la hacen ideal para crear productos con aplicación en la industria alimentaria. Una vez elegida la formulación, el volumen de la mezcla se estableció en 100 mL de agua destilada. En consecuencia, las cantidades de las materias primas presentadas en la Tabla 2 (Sección 8.3) se ajustaron a 25 g de orujo, 12.5 g de grenetina, 5 mL de glicerol y 7.5 mL de ácido acético, partiendo de esta formulación se desarrolló el diseño factorial que se describe a continuación.

9.2 Diseño factorial y producción del material

El diseño factorial 2^3 dio como resultado nueve formulaciones diferentes. La configuración de las corridas experimentales se presenta en la Tabla 4; el glicerol y el ácido acético se mantuvieron constantes en 5 mL y 7.5 mL, respectivamente. En la Tabla 5 se muestran los niveles decodificados. Finalmente, la Figura 9 presenta los materiales obtenidos tras 9 horas de secado en su forma rectangular y cuadrada.

Tabla 4. Configuración de las corridas experimentales

Material	Orujo de uva Nivel	Grenetina Nivel
M1	-1	-1
M2	-1	0
M3	-1	1
M4	1	-1
M5	1	1
M6	0	0
M7	0	-1
M8	0	1
M9	1	0

Tabla 5. Decodificación de Niveles

Factores	Niveles		
	1	0	-1
Orujo	30 g	25 g	20 g
Grenetina	25 g	12.5 g	6.25 g

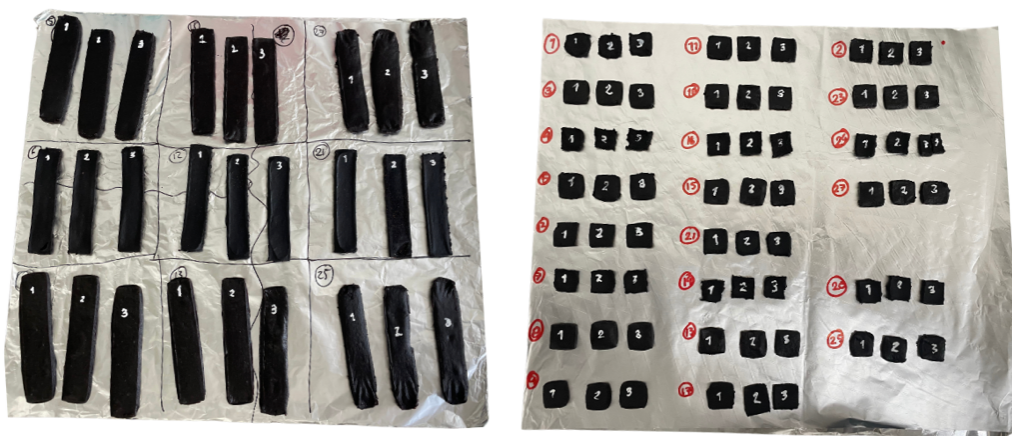


Figura 9. Materiales resultantes de las corridas experimentales. Autoría propia.

9.3 Caracterización del material a base de orujo de uva y grenetina

9.3.1 Dureza del material alternativo

9.3.1.1 Resultados experimentales

En la Tabla 6 se presentan los resultados experimentales de dureza de cada material. El M1, con niveles bajos de orujo y grenetina, presentó la menor dureza, con un valor de 12.73 N. En contraste, el M5, con niveles altos, mostró una dureza significativamente mayor ($P \leq 0.05$) de 84.27 N.

Los valores de dureza obtenidos fueron inferiores a los reportados por Ponce et al. (2021), lo que podría atribuirse a una diferencia en la formulación. En el estudio de Ponce además de un subproducto y grenetina, se incluía almidón, un polisacárido que puede mejorar la resistencia mecánica del material al formar una matriz más estructurada (Gutiérrez et al., 2017).

Tabla 6. Resultados experimentales de dureza

Material	Dureza N
M1	12.73 ± 1.57^g
M2	$33.51 \pm 1.81^{d e}$
M3	61.62 ± 0.28^b
M4	28.75 ± 0.57^e
M5	84.27 ± 3.15^a

M6	39.88 ± 0.33^c
M7	18.55 ± 1.47^f
M8	62.66 ± 3.22^b
M9	$36.82 \pm 2.43^{c\ d}$

Los resultados se expresan como la media \pm la desviación estándar (n=3). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes por la prueba de Tukey con un valor de $p \leq 0.05$.

Es importante señalar que los resultados experimentales corresponden únicamente a las nueve combinaciones evaluadas en el estudio, por lo que se ajustó un modelo de regresión lineal para predecir valores y analizar la relación entre los agentes formadores y la dureza del material.

9.3.1.2 Modelo de regresión lineal y resultados estimados

Se construyó un modelo de regresión lineal para analizar la influencia del orujo de uva y la grenetina sobre la dureza del material. La expresión matemática correspondiente al modelo se muestra en la Ecuación 4. Donde Y corresponde a la dureza, X1 al orujo de uva y X2 a la grenetina.

$$Y = -31.4 + 1.399 X1 + 2.638 X2$$

Ecuación 4. Modelo lineal.

Tabla 7. Resultados del modelo lineal para la variable de dureza

Término	Coef	Error estandar	Valor T	Valor P
Intercepto	-31.4	6.3615	-4.93	4.97E-05
X1	1.399	0.2404	5.82	5.32E-06
X2	2.638	0.1259	20.95	< 2E-16

$R^2 = 95.17 \%$

$R^2_{aj} = 94.76 \%$

Los resultados del modelo lineal, presentados en la Tabla 7, muestran que tanto el orujo de uva como la grenetina tienen un efecto directo sobre la dureza del material. El coeficiente de X1 indica que por cada gramo de orujo añadido, la dureza incrementa 1.399 N. De forma similar, el coeficiente de X2 refleja que al aumentar un gramo de grenetina, la dureza se incrementa 2.638 N. Estos resultados sugieren que la grenetina tiene una influencia mayor sobre la dureza que el orujo de uva. El coeficiente -31.4 indica que si no hay ningún agente formador, la dureza tendría un efecto opuesto.

La Tabla 7 también incluye los valores de R^2 y R^2 ajustado. El coeficiente de determinación, con un valor de 95.17 %, indica que el modelo explica aproximadamente el 95 % de la variabilidad observada en los datos de dureza. Para evaluar la significancia estadística del modelo, se realizó un análisis de varianza, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de varianza del modelo lineal

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Valor P
X1	1	881.2	881.2	33.87	5.32E-06
X2	1	11414	11414	438.73	< 2.2E-16
Error	24	624.4	26		

El análisis de varianza indica que el modelo de regresión lineal es estadísticamente significativo ($P < 0.05$), lo que confirma que existe una relación directa entre las variables independientes (orujo de uva y grenetina) y la variable dependiente (dureza). En la Figura 10 se presentan los gráficos de residuos empleados para evaluar la calidad del ajuste. En la Figura 10a), los puntos siguen una trayectoria cercana a la línea recta, lo que sugiere que se cumple razonablemente el supuesto de normalidad. Esta observación se vió reforzada por la prueba de Anderson-Darling, cuyo valor P fue mayor a 0.05, indicando que los datos son normales. En la Figura 10b), la dispersión aleatoria de los residuos sugiere que el modelo ajustado es adecuado.

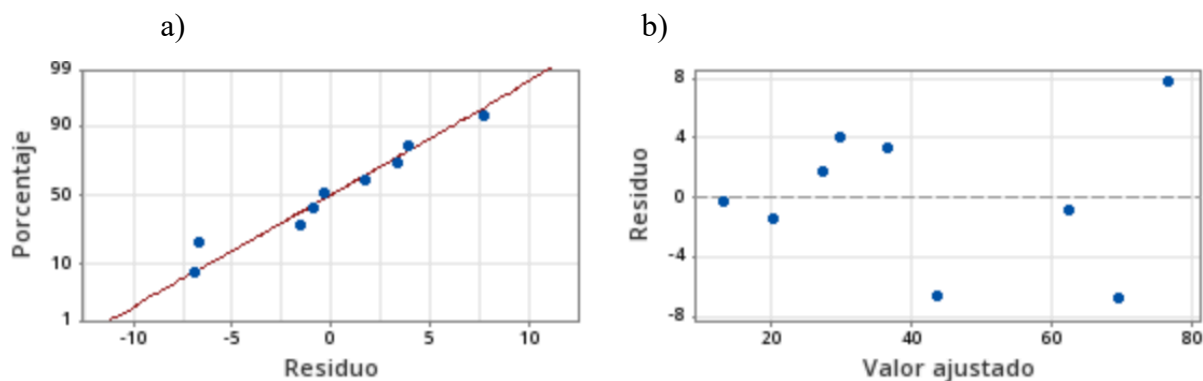


Figura 10. Gráficas de residuos del modelo lineal. (a) probabilidad normal; (b) residuos contra valor ajustado. Autoría propia.

La Tabla 9 muestra los valores de dureza estimados mediante la Ecuación 4, utilizando las combinaciones de orujo y grenetina indicadas en la Tabla 4. También se incluyen los intervalos de confianza para cada estimación, lo que permite visualizar el rango en el que se espera que se encuentren los valores de dureza. Las diferencias observadas entre los valores experimentales y los estimados pueden atribuirse tanto a la variabilidad de los datos medidos como al grado de ajuste del modelo. No obstante, dichas diferencias se mantienen dentro de un rango aceptable, lo que sugiere que el modelo describe adecuadamente la tendencia general de la respuesta.

Tabla 9. Resultados estimados de dureza

Material	Dureza (\hat{Y})	Intervalo de confianza
	N	95%
M1	13.11	9.25, 16.98
M2	29.60	26.35, 32.85
M3	62.57	58.37, 66.76
M4	27.11	23.24, 30.97
M5	76.56	72.37, 80.76
M6	36.59	34.45, 38.69
M7	20.11	17.14, 23.07
M8	69.56	66.18, 72.95
M9	43.59	40.34, 46.84

9.3.2 Solubilidad y contenido de humedad del material alternativo

La solubilidad es un factor clave en los materiales biodegradables. Un bajo porcentaje de solubilidad indica una mayor estabilidad del material en entornos acuosos (Verma et al., 2024). La Tabla 10 presenta los resultados de solubilidad de los materiales desarrollados. A diferencia de la dureza, M1 mostró un valor significativamente mayor ($P \leq 0.05$), con un 25.05 %. Mientras que M3, M5 y M8 presentaron los valores más bajos, con 16.41 %, 15.16 % y 13.94 %, respectivamente. Esta disminución en el porcentaje de solubilidad podría atribuirse al aumento en la formación de puentes de hidrógeno entre las moléculas de celulosa y gredina. La mayor cantidad de estos enlaces fortalece la estructura molecular, haciéndola más compacta y reduciendo la solubilidad del material (Medronho et al., 2012). Adilah et al. (2018) reportaron porcentajes de solubilidad entre 20 y 23 %, valores similares a los de M2, M4, M6, M7 y M9. La similitud se debe al uso de cáscara de mango, un subproducto con polisacáridos semejantes al orujo de uva. Por otro lado, Mroczkowska et al. (2021) reportaron porcentajes de solubilidad superiores. Esta diferencia podría estar relacionada con el uso de almidón de papa en su formulación, un polisacárido con alta afinidad por el agua. En este sentido, un valor de solubilidad menor constituye una ventaja, ya que la resistencia al agua es fundamental para materiales con aplicaciones en la industria alimentaria.

Tabla 10. Resultados de solubilidad y contenido de humedad

Material	Solubilidad %	Contenido de humedad %
M1	25.05 ± 1.57 ^a	9.12 ± 1.22 ^a
M2	22.62 ± 0.40 ^b	6.71 ± 1.05 ^{b c d}
M3	16.41 ± 0.08 ^d	5.55 ± 0.30 ^{c d}
M4	20.73 ± 0.14 ^{b c}	7.14 ± 0.83 ^{a b c}
M5	15.16 ± 0.15 ^{d e}	5.10 ± 0.37 ^{c d}
M6	20.68 ± 0.52 ^{b c}	6.04 ± 0.32 ^{c d}
M7	20.96 ± 1.06 ^{b c}	8.63 ± 0.86 ^{a b}
M8	13.94 ± 1.13 ^e	4.93 ± 0.25 ^d
M9	20.22 ± 0.20 ^c	5.93 ± 0.74 ^{c d}

Los resultados se expresan como la media ± la desviación estándar (n=3). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes por la prueba de Tukey con un valor de $p \leq 0.05$.

Referente a los valores de contenido de humedad, M1, M4 y M7 mostraron los niveles más altos con 9.12 %, 7.14 % y 8.63 %, respectivamente. Las diferencias con las demás formulaciones fueron estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), lo que sugiere que la proporción de los polímeros influye en la cantidad de agua presente en el material. Los materiales con menor proporción de orujo de uva y grenetina tendieron a presentar mayores contenidos de humedad, lo que podría atribuirse a una menor cantidad de interacciones moleculares, lo que favorece la incorporación de agua en la matriz (Borja & Müller, 2016).

9.3.3 Biodegradabilidad del material alternativo

La Figura 11 presenta el aspecto físico de los nueve materiales después de 5, 20 y 45 días de entierro en suelo agrícola. Durante el periodo de la prueba, se observaron cambios en la forma, el color y en la dureza de los materiales.

A los 5 días de entierro, se observó la aparición de crecimiento microbiano superficial en las muestras. Para los 20 días, todas las muestras mostraron una cobertura extensa de microorganismos. Tras 45 días, comenzaron a presentarse signos visibles de degradación, especialmente en M3, M5 y M8, las cuales experimentaron pérdida de fragmentos. Estos mismos materiales se caracterizaron por un aumento en su tamaño durante el tiempo de entierro, lo cual puede atribuirse a su mayor contenido de grenetina y orujo de uva, que se relaciona con una mayor absorción de humedad del suelo. Debido a sus propiedades hidrofílicas, estos agentes formadores tienden a absorber agua del entorno, favoreciendo la expansión del material. Conforme avanzó el tiempo, todos los materiales se tornaron más frágiles, reflejando una pérdida progresiva en su integridad estructural.

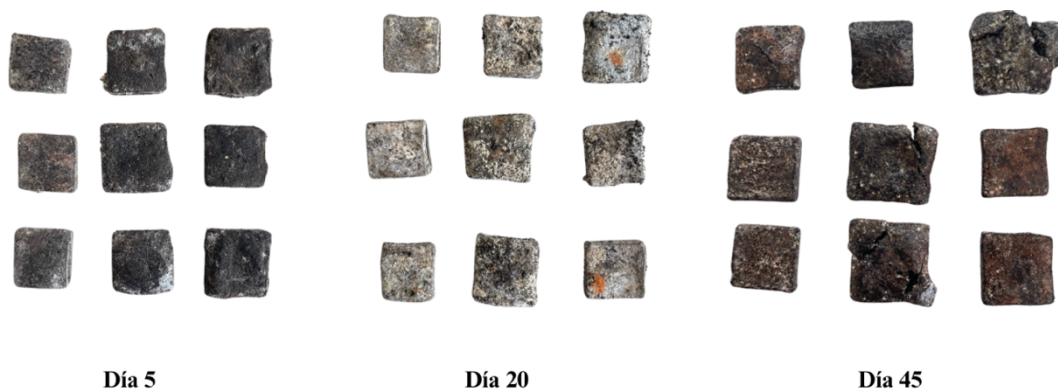


Figura 11. Cambios físicos de los materiales a los 5, 20 y 45 días. Autoría propia.

Durante la etapa de entierro, se observó una pérdida progresiva de peso en todos los materiales, tal como se muestra en la Figura 12. Esta tendencia fue más pronunciada durante los primeros 10 días, mientras que, con el paso del tiempo, la reducción continuó de forma gradual. Al cabo de 45 días, todos los materiales habían perdido más del 50 % de su peso inicial, como indican los resultados de la Tabla 11. El M8 registró una pérdida de peso del 62 %, mientras que M1 perdió el 57 %. Esta degradación puede atribuirse tanto a la acción de microorganismos, como al efecto del agua presente en el suelo (Verma et al., 2024).

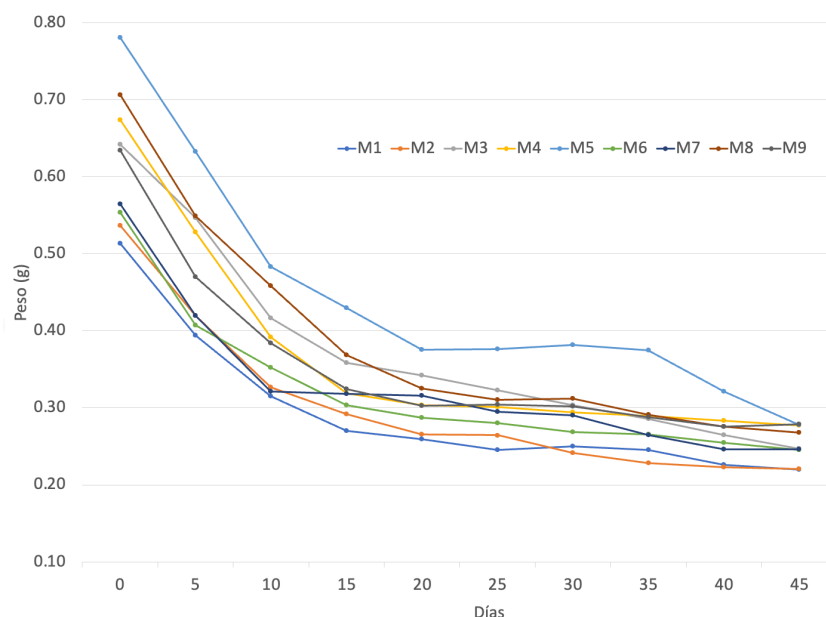
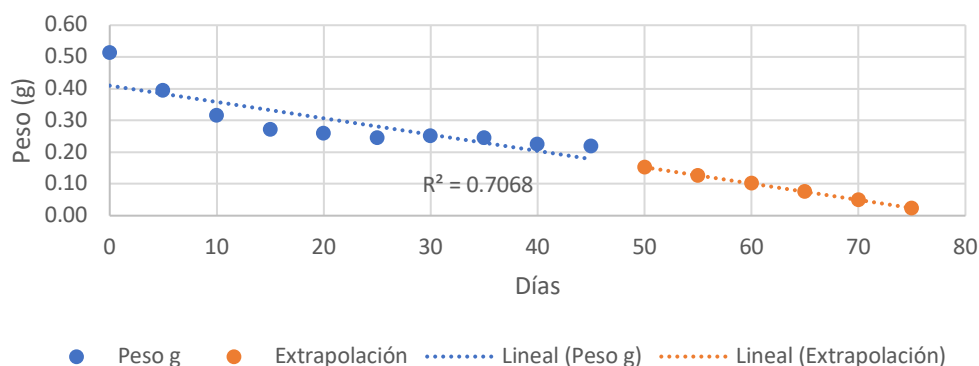


Figura 12. Pérdida de peso de los materiales a lo largo de 45 días. Autoría propia.

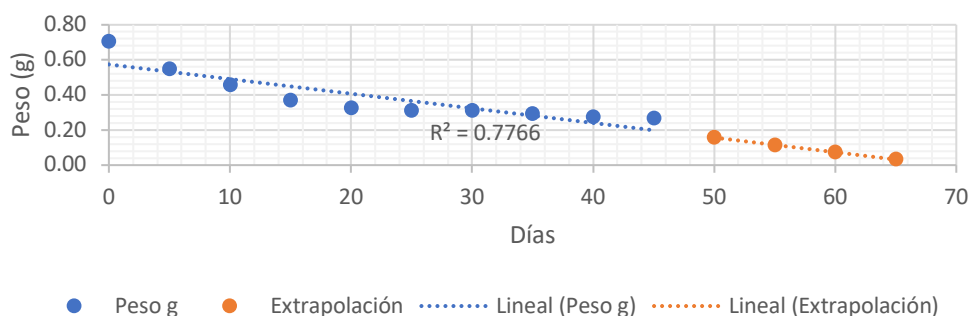
Tabla 11. Porcentaje de pérdida de peso de los nueve materiales en 45 días

Material	% de pérdida de peso
M1	57
M2	59
M3	62
M4	59
M5	64
M6	56
M7	56
M8	62
M9	56

La humedad influye en la degradación de los materiales. En la Figura 13 se presenta la proyección del comportamiento de degradación para los materiales M1 y M8. Según la tendencia observada, se estima que M1 completaría su degradación en aproximadamente 75 días, mientras que M8 lo haría en 65 días. Esta diferencia puede atribuirse a la formulación de cada material. M8, al contener una mayor proporción de orujo y grenetina, presenta una mayor capacidad de absorción de humedad, lo que promueve el crecimiento microbiano y acelera la degradación (Zoungranan et al., 2020). Ponce et al. (2021) desarrollaron un material a base de cáscara de mango y grenetina que se degradó por completo en 5 días al ser enterrado en suelo con una humedad relativa del 100 %.



M1: 75 días para degradarse



M8: 65 días para degradarse

Figura 13. Proyección del comportamiento de degradación de M1 y M8. Autoría propia.

9.4 Aplicación del material

Tras la caracterización de los nueve materiales, se seleccionó M8 como la mejor opción para fabricar productos con aplicación en la industria alimentaria. Este material mostró una rigidez al tacto similar a ciertos plásticos de un solo uso. Además, ofreció la ventaja de que su solución era fácil de manipular durante el proceso de moldeo.

La aplicación propuesta de M8, ilustrada en la Figura 14, consistió en la elaboración de cucharas desechables y empaques tipo “Pringles”. Los productos resultantes exhibieron una forma bien definida, superficie lisa y la rigidez necesaria para resistir su uso sin romperse. Además, no presentaron olor ni sabor, lo cual resulta fundamental para su aplicación con alimentos.




Figura 14. Aplicación de M8 en productos reales. Autoría propia.

9.4.1 Comparación con materiales reportados en la literatura y materiales disponibles en el mercado

En la Tabla 11 se presentan diversos materiales biodegradables. La tabla incluye cinco materiales reportados en la literatura y cinco materiales disponibles actualmente en el mercado. Para cada uno se detalla la materia prima utilizada, el tiempo estimado de degradación, su aplicación, una figura de dicha aplicación y la referencia correspondiente.

Tabla 12. Materiales biodegradables en la literatura y en el mercado

Materia prima	Tiempo de degradación	Aplicación	Figura	Referencia
Almidón, cáscara de mango y grenetina	5 días	Cucharas		Ponce et al., 2021
Cáscara de elote	No se indica tiempo	Empaque de hamburguesas		Castaño et al., 2021
Cáscara de plátano, almidón de tapioca y glicerol	A los 60 días perdieron entre 35 y 39 % de su peso inicial	Maceta		Mohd Rafee et al., 2019
Cáscara de mango, glicerol y vinagre	45 días	Aplicación potencial: empaque de alimentos		Hernández-Lozano et al., 2025
Cáscara de papa, almidón, grenetina y glicerol	A los 6 meses perdieron 80 % de su peso inicial	Aplicación potencial: empaques	Sin figura	Masurkar et al., 2024
Bagazo de caña de azucar	3 meses	Contenedor de comida		Kanogo

Cartón	3 a 5 semanas	Cuchara de un solo uso		Ecotensil
Alga marina	No se indica tiempo	Cuchara de un solo uso para helado		Notpla
Cáscara de papa	No se indica tiempo	Lentes y botones		Chip[s] Board
Hongo	45 días	Empaques no alimenticios		Ecovative

Al comparar cualitativamente el material desarrollado en este trabajo con aquellos reportados en la literatura y los disponibles en el mercado, se identificaron diferencias en color, textura y forma. La cuchara y el empaque a base de orujo de uva y grenetina presentan un color oscuro homogéneo que contrasta con los tonos terrosos de los materiales experimentales, y con los colores claros de los productos comerciales. En cuanto a la textura, el material desarrollado presenta una superficie mate y porosa, mientras que los materiales reportados en la literatura muestran superficies rugosas, y los productos comerciales cuentan con texturas lisas y uniformes. Respecto a la forma, el material de orujo y grenetina tiene acabados definidos, superando visualmente a los materiales experimentales que presentan formas irregulares, aunque los productos comerciales destacan por sus diseños optimizados. Los nueve materiales fabricados presentan distintas opciones de aplicación según su dureza. Los materiales M3, M5 y M8, al mostrar la mayor dureza, tienen el potencial de utilizarse en la fabricación de desechables de un solo uso, como cucharas o tenedores. Por su parte, los

materiales M2, M6 y M9, con una dureza intermedia, podrían emplearse como macetas temporales, ya que con el tiempo se degradarían en el suelo sin afectar el crecimiento de la planta. En cuanto a los materiales de menor dureza, como M1, M4 y M7, su capacidad para absorber agua los hace viables como retenedores de humedad, útiles en suelos que requieren conservación hídrica. Estas aplicaciones demuestran la versatilidad del material en función de sus propiedades mecánicas.

9.4.2 Resultados del estudio de mercado

Para conocer hábitos de consumo del usuario y su disposición de compra hacia el material a base de orujo de uva y grenetina, se aplicaron una encuesta y un focus group. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

9.4.2.1 Resultados de la encuesta

9.4.2.1.1 Datos demográficos

Se recopilaron un total de 230 respuestas. La mayoría de los participantes fueron mujeres (66.5 %), y el grupo de edad predominante estuvo entre los 18 y 35 años (47 %). En cuanto al nivel educativo, el 56.5 % de los encuestados tiene estudios universitarios terminados, y el 45.7 % reportó un ingreso mensual entre \$8,000 y \$23,999 MXN.

9.4.2.1.2 Conocimiento de términos clave

El 62.6 % de los encuestados tiene una comprensión acertada del concepto “producto elaborado a partir de subproductos”, asociándolo con el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Asimismo, el 74.7 % comprende correctamente el término “biodegradable”, relacionándolo con la integración del material al medio ambiente y la descomposición por microorganismos. Los encuestados reconocen los beneficios ambientales de los productos biodegradables. Las tres ventajas más mencionadas fueron: menor impacto ambiental, reducción de residuos y degradación rápida. Estos hallazgos coinciden con un estudio realizado en Europa por Verbytskyi et al. (2024), en el que el 89.5 % de los encuestados manifestó estar familiarizado con el término “biodegradable” e identificó la reducción del

impacto ambiental como la principal ventaja de este tipo de productos. En conjunto, estos resultados sugieren una mayor sensibilización a nivel mundial hacia los productos alternativos como respuesta a las preocupaciones ambientales.

9.4.2.1.3 Hábitos de consumo de PUSU convencionales

El 57 % de los encuestados indicó que el empaque para alimentos es el producto PUSU que más adquieren. Aunque un 34.8 % evita comprar PUSU, la mayoría los consume con cierta regularidad, siendo la frecuencia mensual la más común (37 %). En una encuesta realizada por Nuno et al. (2025), las bolsas de plástico fueron identificadas como el PUSU más adquirido. Alrededor del 26 % de los encuestados indicó comprarlas casi todos los días. Estos resultados indican que los PUSU siguen siendo ampliamente consumidos a pesar de la creciente conciencia sobre su impacto ambiental negativo. El uso de desechables plásticos está principalmente asociado a eventos sociales, destacando su empleo en fiestas (58.7 %) y en comida para llevar o a domicilio (33 %). En menor medida, se utilizan en reuniones de trabajo y en la vida cotidiana. Los aspectos más valorados en los plásticos de un solo uso son el precio, la resistencia y la calidad. Características como el diseño, la textura y el color tienen menor relevancia, lo que sugiere que los consumidores priorizan la funcionalidad y el costo sobre la estética.

9.4.2.1.4 Hábitos de consumo de PUSU biodegradables

El 53 % de los encuestados reportó que el producto biodegradable que más adquiere son las bolsas de basura, seguido por platos y cubiertos desechables (26.9 %). De manera similar, Goerg et al. (2024) encontraron que, entre los consumidores alemanes, las bolsas para compras son el PUSU biodegradable más adquirido. El 80 % de los encuestados identifica si un PUSU es biodegradable a través de la etiqueta del empaque. El 51.3 % de las personas buscan frases que indiquen biodegradabilidad, el 24.8 % revisa certificaciones ambientales, y el 2.2 % verifica si el producto no contiene plástico convencional. Verbytsky et al. (2024) reportaron que, de acuerdo con los usuarios, proporcionar información clara y accesible en la etiqueta del empaque puede influir en gran medida en su decisión de compra de productos biodegradables. Por otro lado, el 43.9 % de los encuestados no reconoce

ninguna marca de productos biodegradables, lo que evidencia una falta de reconocimiento en el mercado. Esta tendencia coincide con el estudio de Ruf et al. (2022), quienes reportaron que las marcas de productos biodegradables suelen ser desconocidas para los consumidores. Con respecto a la frecuencia de compra, el 46.1 % de los encuestados compra desechables biodegradables solo una vez al mes, mientras que el 42.6 % no los adquiere en absoluto. Los principales factores que limitan su compra son la falta de información, el costo elevado y el desconocimiento sobre dónde adquirirlos. Rentería et al. (2024) mencionaron que sus encuestados no adquieren productos biodegradables debido a la limitada disponibilidad y variedad de diseños, mientras que Verbytsky et al. (2024) señalaron que las principales barreras percibidas son el alto precio, la escasa oferta de productos y la falta de conocimiento sobre ellos.

Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados tienen un conocimiento general sobre los productos biodegradables y sus beneficios ambientales, sin embargo, a pesar de este conocimiento, existe una falta de claridad en la identificación de productos realmente biodegradables en el mercado. Un gran porcentaje de los encuestados se basa únicamente en etiquetas o frases comerciales sin verificar los materiales con los que están hechos. Ante esta situación, se identificó la necesidad de desarrollar estrategias de educación y difusión que permitan a los consumidores reconocer productos biodegradables genuinos y diferenciar aquellos que solo emplean términos comerciales sin respaldo normativo. Una campaña de educación podría fomentar decisiones de compra más informadas y promover una mayor adopción de alternativas sostenibles en el mercado (Rentería et al., 2024).

9.4.2.2 Resultados del focus group

Los resultados obtenidos en el focus group proporcionaron información relevante acerca de la disposición de compra del producto elaborado a partir de orujo de uva y grenetina.

Los participantes expresaron una actitud de compra positiva hacia las cucharas fabricadas con el material alternativo. El 50.0 % indicó que "definitivamente lo compraría", mientras que el 36.7 % señaló que "posiblemente lo compraría", lo que representa un 86.7 % de intención de compra favorable (Figura 15a).

Respecto a la posibilidad de utilizar el mismo material en empaques para alimentos secos, la respuesta también fue positiva, aunque con una ligera disminución en la intención de compra.

El 43.3 % manifestó que "posiblemente lo compraría" y el 33.3 % que "definitivamente lo compraría", sumando un 76.6 % de aceptación (Figura 15b). Entre las razones expresadas por quienes no lo adquirirían se encuentran la percepción de que el grosor del material puede resultar poco atractivo en un empaque y la inquietud sobre su capacidad para conservar adecuadamente los alimentos (cabe mencionar que en el focus group no se les mostró el empaque, únicamente las cucharas).

Asimismo, se evaluó la disposición a pagar por un paquete de 25 cucharas con un precio de \$30.00 MXN. Los resultados fueron sólidos, el 90.0 % indicó que "definitivamente lo compraría" y el 10.0 % restante que "posiblemente lo compraría", sin registrarse respuestas neutras ni negativas (Figura 15c). Un paquete de 25 cucharas desechables en México cuesta alrededor de \$20.00 MXN. Esto indica que los estudiantes están dispuestos a pagar \$10.00 MXN adicionales por las cucharas elaboradas a base de orujo de uva y grenetina. Estos hallazgos coinciden con el estudio de Notaro et al. (2022), en el que consumidores italianos estaban dispuestos a pagar €2.60 más por vasos biodegradables. Asimismo, Herrmann et al. (2022) y Kesgin et al. (2025) reportaron que los consumidores interesados en productos biodegradables generalmente están dispuestos a pagar un precio adicional por PUSU sostenibles.

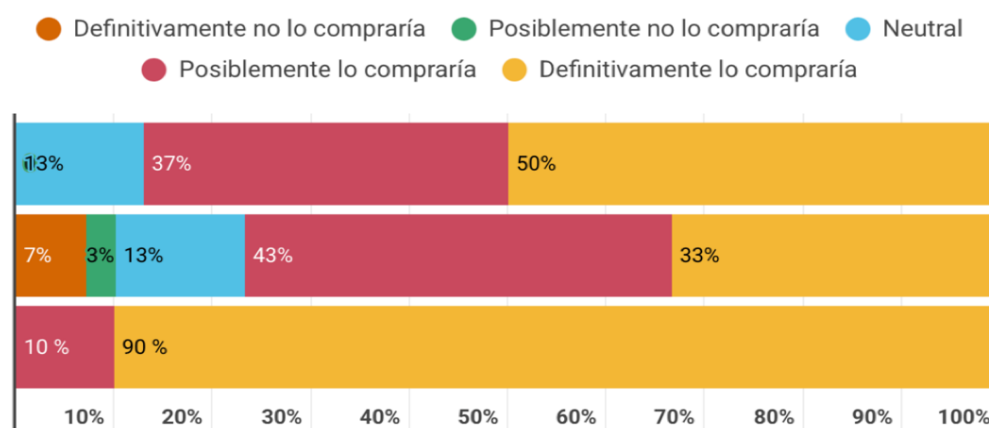


Figura 15. (a) Intención de compra de cucharas; (b) Intención de compra de empaque para alimentos secos; (c) Intención de compra de un paquete de cucharas a \$30 MXN. Autoría propia.

La relación calidad-precio del producto fue valorada de manera muy positiva por los participantes. El 40.0 % la calificó como “excelente” y el 56.7 % como “buena”, mientras que únicamente un 3.3 % se mostró “neutral”.

Asimismo, el conocimiento de que el producto se degrada en suelo en un periodo menor a un año tuvo un impacto en la decisión de compra de los participantes. El 60.0 % indicó que esta característica “influye mucho” en su decisión, y el 30.0 % señaló que “influye algo”. Solo un 6.7 % se mostró “neutral” y un 3.3 % afirmó que “no influye”. Las principales razones por las cuales esta propiedad influye en la decisión de compra se presentan en la Figura 16a, mediante una nube de palabras construida a partir de sus respuestas. Por otro lado, quienes indicaron que esta propiedad no influye en su decisión argumentaron que otorgan mayor importancia a la funcionalidad del producto que a su capacidad de degradación.

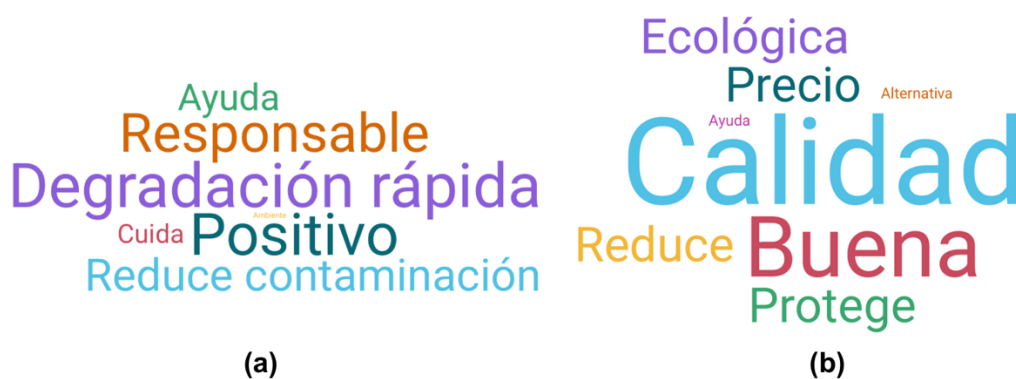


Figura 16. Nube de palabras. (a) Razones por las que la biodegradabilidad influye en la decisión de compra; (b) Razones por las que los consumidores cambiarían sus hábitos.
Autoría propia.

Por último, la disposición a modificar hábitos de consumo y sustituir productos plásticos convencionales por aquellos elaborados con el material a base de orujo de uva y grenetina fue elevada. El 63.3 % manifestó estar “totalmente dispuesto” y el 33.3 % “algo dispuesto”, mientras que solo el 3.3 % se mantuvo “neutral”. Los estudiantes destacaron dos motivaciones principales para cambiar sus hábitos de consumo, la calidad percibida de la cuchara y, en mayor medida, su valor ecológico, el cual asociaron con el cuidado del medio ambiente (Figura 16b). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Moshood et al. (2022), quienes encontraron que los jóvenes malasio están dispuestos a sustituir los plásticos

convencionales por biodegradables debido a sus preocupaciones ambientales. Asimismo, identificaron que las motivaciones hedónicas, como la búsqueda de novedad y el espíritu de aventura, también influyen en el cambio de hábitos de consumo, ya que los jóvenes tienden a disfrutar productos innovadores (Moshood et al., 2021). En conjunto, estos resultados sugieren que las nuevas generaciones probablemente liderarán la transición hacia los productos biodegradables debido a su conciencia ambiental.

Los resultados del focus group reflejan una percepción positiva por parte de los participantes hacia la cuchara elaborada a partir de orujo de uva y grenetina. Sus características en cuanto a color, textura, forma y dureza fueron bien aceptadas. La intención de compra fue alta, y más aún, se evidenció una notable disposición a modificar hábitos de consumo, sustituyendo los desechables de plástico convencional por alternativas más sostenibles. Estos hallazgos sugieren que el desarrollo de productos de un solo uso con materiales alternativos no solo es viable desde el punto de vista funcional, sino también aceptado por potenciales consumidores, lo que refuerza su relevancia como solución ante la problemática ambiental derivada del uso de plásticos y residuos agroindustriales.

9.4.3 Resultados factibilidad económica

Se evaluó la factibilidad económica del proyecto de inversión de cucharas biodegradables elaboradas a base de orujo de uva y grenetina. El análisis incluyó los costos fijos y variables, los activos fijos y un posible financiamiento mediante un préstamo.

9.4.3.1 Costos fijos

Los costos fijos contemplaron únicamente los sueldos de dos personas. Debido a que la producción se realizaría en un laboratorio de la Universidad Autónoma de Querétaro, no se consideraron gastos por renta ni servicios adicionales. El total de costos fijos fue de \$2,008.92⁰⁰ mensuales y \$24,107.02⁰⁰ anuales.

Con base en una producción estimada de 260,000 cucharas al año (200 paquetes semanales de 25 unidades) se calculó un costo fijo unitario (CFU) de \$0.09⁰⁰ por cuchara.

9.4.3.2 Costos variables

En los costos variables se incluyeron las materias primas como orujo de uva, grenetina, glicerol, ácido acético y agua destilada, además de una bolsa para empaque y una etiqueta. En la Figura 17 se presenta el costo por pieza de cada materia prima. En conjunto, el costo variable unitario (CVU) fue estimado en \$0.57⁰⁰ por cuchara.

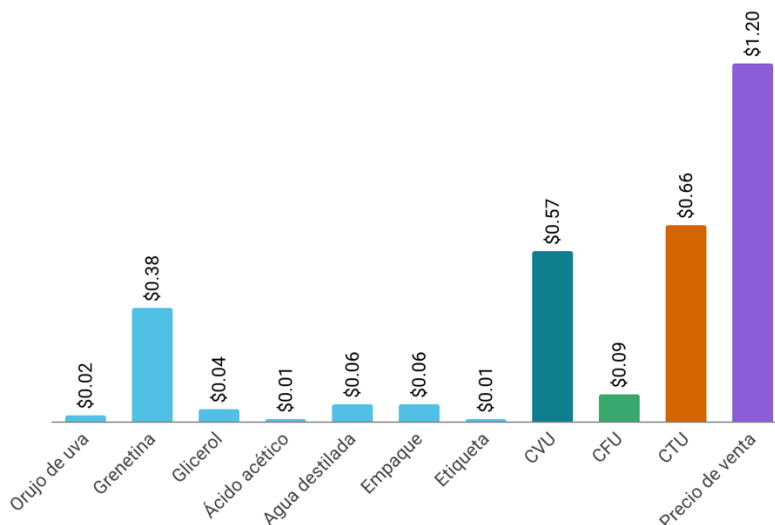


Figura 17. Costo por pieza. Autoría propia.

9.4.3.3 Costos totales y precio de venta

Como se muestra en la Figura 17, al sumar el costo fijo unitario (\$0.09⁰⁰) y el costo variable unitario (\$0.57⁰⁰), se estimó un costo total unitario (CTU) de \$0.66⁰⁰ por cuchara. Considerando la venta de un paquete de 25 unidades en \$30.00⁰⁰, el precio de venta por cuchara sería de \$1.20, lo que permitió proyectar una utilidad de \$0.54⁰⁰ por unidad.

9.4.3.4 Activos fijos

Se consideraron como activos fijos los equipos y mobiliario necesarios para la operación del proyecto. El valor total de estos activos se estimó en \$112,000⁰⁰.

9.4.3.5 Inversión y préstamo

Para determinar la inversión inicial del proyecto, se consideraron el total de activos fijos, el total de costos fijos y un monto de \$15,000.00⁰⁰ para los costos variables iniciales. De esta manera, la inversión total asciende a \$151,107⁰⁰. Para financiar esta cantidad, se contemplaría la solicitud de un préstamo por \$120,000.00⁰⁰ con una tasa de interés anual del 15%, a pagarse en un plazo de tres años. Este financiamiento permitiría la puesta en marcha del proyecto.

9.4.3.6 Proyecto de inversión

Para el cálculo de la Tasa de Rendimiento Mínima Aceptada (TREMA), se tomaron en cuenta diversos indicadores económicos relevantes para el año 2025: una inflación del 4.21 %, una tasa CETES a 28 días del 10.96 %, un incremento en el tipo de cambio del 17 % y un crecimiento del sector secundario del 0.3 % (Banco de México, 2024).

Con base en estos datos, la TREMA se calculó en 32.37%. Este indicador representa la tasa mínima que el proyecto debe superar para ser considerado financieramente viable (Rodrigues, 2023).

El análisis financiero arrojó una Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada del 57%, superior a la TREMA calculada. De acuerdo con criterios financieros, cuando la TIR es mayor que la TREMA, el proyecto de inversión es aceptable y rentable (García, 2018).

Por lo tanto, se concluye que el proyecto de producción de cucharas biodegradables a base de orujo de uva y grenetina resulta viable desde el punto de vista financiero.

9.5 Limitaciones del estudio

Aunque los resultados obtenidos permiten identificar el potencial del material alternativo, es importante reconocer ciertos aspectos que deben ser considerados para futuras mejoras. Las limitaciones de este trabajo se presentan a continuación.

Limitaciones del estudio:

- Se requiere llevar a cabo pruebas espectroscópicas que permitan confirmar la clasificación del material como bioplástico.
- Es recomendable que en futuras investigaciones se realicen pruebas adicionales que evalúen otras propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión, compresión, flexibilidad y fragilidad. Lo que permitiría la comparación con otros materiales reportados en la literatura y definir de forma más concreta otras aplicaciones del material. No obstante, la prueba de corte permitió obtener información valiosa sobre la dureza.
- La evaluación del comportamiento térmico del material aún no se ha realizado, lo que limita la comprensión de su estabilidad en diferentes condiciones de temperatura.

Limitaciones del proceso:

- La producción es tardada ya que se necesitan muchas horas de secado. Este proceso prolongado podría retrasar la cadena de fabricación e incrementar el consumo energético. La implementación de un sistema de enfriamiento podría ser una alternativa para reducir los tiempos de secado.
- El orujo de uva es una materia prima de temporada (verano y otoño), lo que podría afectar la producción sostenida del producto a lo largo del año.

Limitaciones del material y su aplicación :

- La forma final del producto depende de la disponibilidad de moldes, lo que restringe su aplicación. Para superar esta restricción, se podría considerar el uso de impresoras 3D que permitan fabricar moldes personalizados según las necesidades.

- La cuchara, tras cierto tiempo de uso, puede presentar una textura viscosa en la superficie, lo que compromete la experiencia del usuario. Identificar y aplicar un recubrimiento adecuado, como alguna cera natural, podría mejorar esta característica.
- Su aplicación como empaque debe restringirse al almacenamiento de alimentos secos.
- El material puede presentar dificultades en el proceso de etiquetado, complicando la personalización para marcas comerciales. La implementación de algún tipo de sello o técnica de marcado podría facilitar este aspecto.

X. Conclusión

El desarrollo de un material a base de orujo de uva, grenetina, glicerol y ácido acético permitió demostrar que los subproductos agroindustriales de la industria vitivinícola pueden ser aprovechados para formular matrices poliméricas biodegradables con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria. Se demostró con éxito la fabricación de un material que posee características físicas adecuadas para la creación de utensilios desechables. La confirmación de su degradación en suelo en un corto periodo de tiempo lo posiciona como una opción alternativa en términos sustentables en comparación con los plásticos convencionales.

Desde la perspectiva del consumidor, los hallazgos del focus group son alentadores. La alta disposición de compra de la cuchara valida el interés del mercado por productos con un perfil ecológico. Además, el análisis de factibilidad económica proyecta un escenario prometedor. Los indicadores financieros sugieren que la producción de este material no solo es ecológicamente responsable, sino también económicamente atractiva.

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad técnica, ambiental, comercial y financiera del material formulado, cumpliendo con los objetivos establecidos en este trabajo. Así, se valida la hipótesis de que es posible desarrollar un material biodegradable a partir de subproductos agroindustriales con propiedades funcionales y aceptación suficiente para ser considerado una alternativa real y sostenible frente a los plásticos de un solo uso en la industria alimentaria.

XI. Referencias

- Abreu, T., Sousa, P., Gonçalves, J., Hontma, N., Teixeira, J., Câmara, J. S., & Perestrelo, R. (2024). Grape Pomace as a Renewable Natural Biosource of Value-Added Compounds with Potential Food Industrial Applications. *Beverages*, 10(2), 45. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/beverages10020045>
- Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., & Hanani, Z. A. N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>
- Arif, Z. U., Khalid, M. Y., Sheikh, M. F., Zolfagharian, A., & Bodaghi, M. (2022). Biopolymeric sustainable materials and their emerging applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4), 108159. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108159>
- Asiyanbi, T. T., Bio-Sawe, W., Idris, M. A., & Hammed, A. M. (2017). Gelatin-polysaccharide based materials: A review of processing and properties. *International Food Research Journal*.
- Babu, A., Shams, R., Dash, K. K., Shaikh, A. M., & Kovács, B. (2024). Protein-polysaccharide complexes and conjugates: Structural modifications and interactions under diverse treatments. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101510. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101510>
- Banxico, banco central, Banco de México. (s. f.). <https://www.banxico.org.mx/>
- Bealer, E. J., Onissema-Karimu, S., Rivera-Galletti, A., Francis, M., Wilkowski, J., Salas de la Cruz, D., & Hu, X. (2020). Protein–Polysaccharide Composite Materials: Fabrication and Applications. *Polymers*, 12(2), 464. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym12020464>

- Beres, C., Costa, G. N. S., Cabezudo, I., da Silva-James, N. K., Teles, A. S. C., Cruz, A. P. G., Mellinger-Silva, C., Tonon, R. V., Cabral, L. M. C., & Freitas, S. P. (2017). Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. *Waste Management*, 68, 581-594. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.017>
- BIOFASE . (s. f.). *Productos biodegradables a partir del aguacate*. Biofase Europa . <https://biofase.eu/>
- Borbolla-Jiménez, F. V., Peña-Corona, S. I., Farah, S. J., Jiménez-Valdés, M. T., Pineda-Pérez, E., Romero-Montero, A., Del Prado-Audelo, M. L., Bernal-Chávez, S. A., Magaña, J. J., & Leyva-Gómez, G. (2023). Films for Wound Healing Fabricated Using a Solvent Casting Technique. *Pharmaceutics*, 15(7), 1914. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071914>
- Borg, K., Lennox, A., Kaufman, S., Tull, F., Prime, R., Rogers, L., & Dunstan, E. (2022). Curbing plastic consumption: A review of single-use plastic behaviour change interventions. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131077. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131077>
- Borja, F. d'Arlas, & Müller Sánchez, A. J. (2016). Polímeros con alta densidad de puentes de hidrógeno. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, 112(718), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5800811&utm>
- Buoungnok, K., Threepopnatkul, P., Amornsakchai, T., Chia, C. H., Wongsagonsup, R., & Smith, S. M. (2023). Toward a circular bioeconomy: Exploring pineapple stem starch film as protective coating for fruits and vegetables. *Polymers*, 15(11), 2493. <https://doi.org/10.3390/polym15112493>

- Castaño Castrillón, H. D., Gutiérrez Aguilar, C. M., & Angel Álvarez, B. E. (2021). Circular Economy Strategies: Use of Corn Waste to Develop Biomaterials. *Sustainability*, 13(15), 8356. <https://doi.org/10.3390/su13158356>
- Chakka, A. K., & Babu, A. S. (2022). Bioactive compounds of winery by-products: Extraction techniques and their potential health benefits. *Applied Food Research*, 2(1), 100058. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100058>
- Chandrasekar, C. M., Krishnamachari, H., Farris, S., & Romano, D. (2023). Development and characterization of starch-based bioactive thermoplastic packaging films derived from banana peels. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100328>
- Charles, D., & Kimman, L. (2023). *Plastic Waste Makers Index 2023*. Minderoo Foundation.
- Chen, Y., Awasthi, A. K., Wei, F., Tan, Q., & Li, J. (2021). Single-use plastics: Production, usage, disposal, and adverse impacts. *Science of The Total Environment*, 752, 141772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141772>
- Chip[s] Board. (s. f.). *REFLOW*. <https://reflowproject.eu/best-practices/chips-board/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *Consumismo plástico*. <http://www.gob.mx/conanp/articulos/con-su-mismo-plastico?idiom=es>
- Costa, B. P., Carpiné, D., Ikeda, M., Pazzini, I. A. E., da Silva Bambirra Alves, F. E., de Melo, A. M., & Ribani, R. H. (2023). Bioactive coatings from non-conventional loquat (*eriobotrya japonica* lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging. *Progress in Organic Coatings*, 175, 107320. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107320>

- Crespo-López, L., Martínez-Ramírez, A., Sebastián, E., & Cultrone, G. (2023). Pomace from the wine industry as an additive in the production of traditional sustainable lightweight eco-bricks. *Applied Clay Science*, 243, 107084. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.107084>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., & Kuchina, Y. A. (2022). Intermolecular Interactions in the Formation of Polysaccharide-Gelatin Complexes: A Spectroscopic Study. *Polymers*, 14(14), 2777. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym14142777>
- Díaz-Montes, E. (s. f.). Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. *Polysaccharides*, 3(3), 480-501. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030029>
- Díaz-Montes, E. (2022). *RESIDUOS AGROALIMENTARIOS ¿QUÉ SON? ¿QUIÉN LOS GENERA? Y ¿POR QUÉ SON VALIOSOS?*
- Dios Avila, N. de, Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M. O., & Cambero Campos, O. J. (2023). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustri. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2607. https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607
- Dzeikala, O., Prochon, M., & Sedzikowska, N. (2024). Gelatine Blends Modified with Polysaccharides: A Potential Alternative to Non-Degradable Plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(8), 4333. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms25084333>
- EcoTensil. (s. f.). *All products*. EcoTensil. <https://ecotensil.com/pages/cutlery-biodegradable-paper-spoons>
- Environment, U. N. (2018). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability | unep - un environment programme*. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>

- Erkmen, O., & Barazi, A. O. (2018). General Characteristics of Edible Films. *Journal of Food Biotechnology Research*.
- Ferreira-Santos, P., Nobre, C., Rodrigues, R. M., Genisheva, Z., Botelho, C., & Teixeira, J. A. (2024). Extraction of phenolic compounds from grape pomace using ohmic heating: Chemical composition, bioactivity and bioaccessibility. *Food Chemistry*, 436, 137780. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137780>
- Flórez, M., Cazón, P., & Vázquez, M. (2023). Selected Biopolymers' Processing and Their Applications: A Review. *Polymers*, 15(3), 641. <https://doi.org/10.3390/polym15030641>
- Gamage, A., Thiviya, P., Liyanapathirana, A., Wasana, M. L. D., Jayakodi, Y., Bandara, A., Manamperi, A., Dassanayake, R. S., Evon, P., Merah, O., & Madhujith, T. (2024). Polysaccharide-based bioplastics: Eco-friendly and sustainable solutions for packaging. *Journal of Composites Science*, 8(10), 413. <https://doi.org/10.3390/jcs8100413>
- García Castro, P. (2018). *Proyecto de inversión y gestión del riesgo de una empresa de elaboración y comercialización de helado napolitano de crema de crème*.
- Goerg, S. J., Hempel, C., & Pondorfer, A. (2024). Stated purchase of bio-based products: Personal and regional factors in Germany. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 8, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100087>
- Goudie, K. J., McCreath, S. J., Parkinson, J. A., Davidson, C. M., & Liggat, J. J. (2023). Investigation of the influence of pH on the properties and morphology of gelatin hydrogels. *Journal of Polymer Science*, 61(19), 2316-2332. <https://doi.org/10.1002/pol.20230141>
- Gutiérrez, T. J., Ollier, R., & Alvarez, V. A. (2018). Surface properties of thermoplastic starch materials reinforced with natural fillers. En V. K. Thakur & M. K. Thakur

- (Eds.), *Functional Biopolymers* (pp. 131-158). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-66417-0_5
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(1), e2018JC014719. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 71, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027>
- Hernández-Lozano, L. C., Berger, P., Cachutt-Alvarado, C., & Domínguez-Soberanes, J. (2025). Sustainable solutions: Biodegradable polymers derived from mango residues. *Polymer*, 319, 127980. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127980>
- Herrmann, C., Rhein, S., & Sträter, K. F. (2022). Consumers' sustainability-related perception of and willingness-to-pay for food packaging alternatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106219. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106219>
- Idris, S. N., Amelia, T. S. M., Bhubalan, K., Lazim, A. M. M., Zakwan, N. A. M. A., Jamaluddin, M. I., Santhanam, R., Amirul, A.-A. A., Vigneswari, S., & Ramakrishna, S. (2023). The degradation of single-use plastics and commercially viable bioplastics in the environment: A review. *Environmental Research*, 231, 115988. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115988>
- Islam, M., Xayachak, T., Haque, N., Lau, D., Bhuiyan, M., & Pramanik, B. K. (2024). Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life. *Process Safety and Environmental Protection*, 188, 151-166. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.113>
- Kanogo. (s. f.). <https://kanogogreen.com>

- Karimi Sani, I., Masoudpour-Behabadi, M., Alizadeh Sani, M., Motalebinejad, H., Juma, A. S. M., Asdagh, A., Eghbaljoo, H., Khodaei, S. M., Rhim, J.-W., & Mohammadi, F. (2023). Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. *Food Chemistry*, 405, 134964. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134964>
- Kesgin, M., Can, A. S., Ding, L., Legg, M., & Schuler, D. (2025). Legacy matters: Encouraging willingness to pay a premium for environmentally friendly off-premises food packaging. *International Journal of Hospitality Management*, 126, 104037. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2024.104037>
- Lindwall, C. (2024). *Single-Use Plastics 101*. NRDC. <https://www.nrdc.org/stories/single-use-plastics-101>
- López, L. D. la T., Cortés, M. E. T., & Espino, X. M. (2021). Desarrollo sustentable y aprovechamiento del residuo de la caña de azúcar. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 7(1), 12-26. <https://rema.iipn.mx/index.php/REMAI/article/view/79>
- López, R. S., Ponce, B. A. F., Silva, I. M. V., Astudillo, Y. I. M., Hernández, J. J., Casamayor, V. F., & Villa, G. A. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un biopolímero almidón-gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52-61. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1324>
- López-Astorga, M., Molina-Domínguez, C. C., Ovando-Martínez, M., & Leon-Bejarano, M. (2022). Orujo de uva: Más que un residuo, una fuente de compuestos bioactivos. *EPISTEMUS*, 16(33), 115-122. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283>
- Lu, Y., Luo, Q., Chu, Y., Tao, N., Deng, S., Wang, L., & Li, L. (2022). Application of Gelatin in Food Packaging: A Review. *Polymers*, 14(3), 436. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym14030436>

- Masurkar, S., Arif Attar, S., & Ruikar, S. (2024). Production and Biodegradability Studies of Edible Bioplastics from Potato Peel Waste. *Bulletin of Pure and Applied Sciences*.
- McClements, D. J. (2006). Non-covalent interactions between proteins and polysaccharides. *Biotechnology Advances*, 24(6), 621-625.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.07.003>
- Mederos-Torres, Y., Bernabé-Galloway, P., Ramírez-Arrebato, M. Á., Mederos-Torres, Y., Bernabé-Galloway, P., & Ramírez-Arrebato, M. Á. (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultivos Tropicales*, 41(3).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Medronho, B., Romano, A., Miguel, M. G., Stigsson, L., & Lindman, B. (2012). Rationalizing cellulose (In)solubility: Reviewing basic physicochemical aspects and role of hydrophobic interactions. *Cellulose*, 19(3), 581-587. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9644-6>
- MOHD RAFEE, S. N. A., LEE, Y. L., JAMALLUDIN, M. R., ABDUL RAZAK, N., MAKHTAR, N. I., & ISMAIL, R. I. (2019). Effect of Different Ratios of Biomaterials to Banana Peels on the Weight Loss of Biodegradable Pots. *Acta Technologica Agriculturae* 1, 1-4.
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., & AbdulGhani, A. (2022). Why do consumers purchase biodegradable plastic? The impact of hedonics and environmental motivations on switching intention from synthetic to biodegradable plastic among the young consumers. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 64, 102807.
<https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102807>

- Mroczkowska, M., Culliton, D., Germaine, K., & Neves, A. (2021). Comparison of Mechanical and Physicochemical Characteristics of Potato Starch and Gelatine Blend Bioplastics Made with Gelatines from Different Sources. *Clean Technologies*, 3(2), 424-436.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020024>
- Mushroom packaging. (s. f.). Mushroom Packaging. <https://mushroompackaging.com/>
- Notaro, S., Lovera, E., & Paletto, A. (2022). Consumers' preferences for bioplastic products: A discrete choice experiment with a focus on purchase drivers. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129870. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129870>
- Notpla. Compostable ice cream spoon | plastic-free cutlery. (s. f.). <https://www.notpla.com/ice-cream-spoons>
- Nuno, A., Duncan, E. M., Dias, D., dos Santos, Y., Ramilo-Henry, M., & Matilde, E. (2025). Understanding plastic pollution at a remote tropical island (Príncipe island, gulf of guinea): Consumer behaviour and management preferences. *Regional Studies in Marine Science*, 81, 103982. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103982>
- OECD. (2022). Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. *OECD Publishing, Paris*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/de747aef-en>
- Okoffo, E. D., Donner, E., McGrath, S. P., Tschärke, B. J., O'Brien, J. W., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S. D., Toapanta, T., Rauert, C., Samanipour, S., Mueller, J. F., & Thomas, K. V. (2021). Plastics in biosolids from 1950 to 2016: A function of global plastic production and consumption. *Water Research*, 201, 117367.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117367>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023). *Perspectivas de la producción mundial de vino*.

https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/Perspectivas_de_la_producci3n_mundial_de_vino_Primeras_estimaciones_OIV_de_2023.pdf

Ozcan, B. E., Tetik, N., & Aloglu, H. S. (2024). Polysaccharides from fruit and vegetable wastes and their food applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276, 134007. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134007>

Plastic Oceans. (2020). Plastic pollution facts | plasticoceans. Org/the-facts. *Plastic Oceans International*. <https://plasticoceans.org/the-facts/>

Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSAI-2002, Determinacion de humedad y solidos totales en alimentos por secado en estufa.

RAI, S., DUTTA, P. K., & MEHROTRA, G. K. (2017). *Lignin Incorporated Antimicrobial Chitosan Film for Food Packaging Application*.

Rentería, A. S., Chocoteco, J. A., Mojarro Magaña, M., Sandoval Pérez, S., Chávez Navarro, Y., & Candelario Ramírez, F. (2024). Attitudes, perceptions and willingness to pay for biodegradable disposable products: An investigation in the South region of Jalisco, Mexico. *International Journal of Sustainable Engineering*, 17(1), 150-158. <https://doi.org/10.1080/19397038.2024.2321206>

Riaz, S., Maan, A. A., Butt, M. S., & Khan, M. K. I. (2024). Valorization of agricultural residues in the development of biodegradable active packaging films. *Industrial Crops and Products*, 215, 118587. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118587>

Rodrigues, N. (2023). *Qué es la TREMA y cómo se calcula (Con ejemplo)*. <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-trema>

Romero-Mitre, R. D., Galaviz-Rodríguez, J. V., Pérez-Pérez, A., Garduño-Olvera, I. E., & Pérez-Bustamante, R. (2020). Desarrollo de biopolímero a base de colágeno. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*.

- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Ruf, J., Emberger-Klein, A., & Menrad, K. (2022). Consumer response to bio-based products – A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 353-370. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.022>
- Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2022). Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. *Membranes*, 12(5), 442. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/membranes12050442>
- Secretaría de Medio Ambiente. (2021). *PROHIBICIÓN DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO*. http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/images/Prohibicion_plasticos_desechables_presentacion_ventana_informativa.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA*. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2023/NFCP_2023.pdf
- SEMARNAT. (s. f.). *Océanos, inundados de plástico*. gob.mx. Recuperado 23 de mayo de 2025, de <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/oceanos-inundados-de-plastico>
- Shruthy, R., Jancy, S., & Preetha, R. (2021). Cellulose nanoparticles synthesised from potato peel for the development of active packaging film for enhancement of shelf life of raw prawns (*penaeus monodon*) during frozen storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 3991-3999. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14551>
- Soares Mateus, A. R., Pena, A., & Sanches-Silva, A. (2024). Unveiling the potential of bioactive compounds in vegetable and fruit by-products: Exploring phytochemical properties, health benefits, and industrial opportunities. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 48, 100938. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100938>

- Spinei, M., & Oroian, M. (2021). The potential of grape pomace varieties as a dietary source of pectic substances. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(4), 867.
<https://doi.org/10.3390/foods10040867>
- Stoett, P., Srich, V. M., Elliff, C. I., Andrade, M. M., de M. Grilli, N., & Turra, A. (2024). Global plastic pollution, sustainable development, and plastic justice. *World Development*, 184, 106756. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106756>
- Suárez Matallana, G. A., Sánchez Atahualpa, S. R., Riquez, A. L., & Rodríguez Zúñiga, U. F. (2022). CONCEPTOS DE BIOCATÁLISIS DE LA LIGNOCELULOSA DESDE UN ENFOQUE DE INGENIERÍA DE PROCESOS Y SISTEMAS: UNA REVISIÓN. *Perfiles*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.179>
- Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018). The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, 24, 111-119.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
- Surendren, A., K. Mohanty, A., Liu, Q., & Misra, M. (2022). A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: Recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chemistry*, 24(22), 8606-8636. <https://doi.org/10.1039/D2GC02169B>
- Thivya, P., Gururaj, P. N., Reddy, N. B. P., & Rajam, R. (2024). Recent advances in protein-polysaccharide based biocomposites and their potential applications in food packaging: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 268, 131757.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131757>
- Tien, N. N. T., Nguyen, H. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2023). Biodegradable films from dragon fruit (*hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with

glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101084.

<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101084>

UNO environment programme . (2018). *Our planet is choking on plastic*.

<https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/?lang=EN>

Van Hau, P. (2024). Rethinking single-use plastic (Sup): Behavioural insights and lessons from a developing nation. *Environmental Challenges*, 17, 101052.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101052>

Verbytskyi, S., Muižniece-Brasava, S., Minorova, A., Patsera, N., Kozachenko, O., & Nedorizaniuk, L. (2024). Biodegradable food packaging: Institutional and social aspects. *ПРОДОВОЛЬЧІ РЕСУРСИ*, 12(23), 8-15.

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-01>

Verma, P., Rani, R., Das, D., Rai, K. K., Gogoi, P., & Badwaik, L. S. (2024). Transformation of banana peel into biodegradable film added with starch and carboxymethyl cellulose and its characterization. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, 101356.

<https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101356>

Wen, J., Xu, G., Zhang, A., Ma, W., & Jin, G. (2024). Emerging technologies for rapid non-destructive testing of grape quality: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 133, 106446. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106446>

World Economic Forum. (2024). *Microplásticos: ¿Estamos enfrentando una nueva crisis de salud?*
<https://es.weforum.org/stories/2024/09/microplasticos-estamos-enfrentando-una-nueva-crisis-de-salud-y-que-se-puede-hacer-al-respecto/>

Zoungranan, Y., Lynda, E., Dobi-Brice, K. K., Tchirioua, E., Bakary, C., & Yannick, D. D. (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite



bioplastics based on cassava starch and corn starch. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396>

Zuñiga-Martínez, B. S., Domínguez-Avila, J. A., Robles-Sánchez, R. M., Ayala-Zavala, J. F., Villegas-Ochoa, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Agro-Industrial Fruit Byproducts as Health-Promoting Ingredients Used to Supplement Baked Food Products. *Foods*, 11(20), 3181. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11203181>

XII. Anexos

12.1 Anexo 1: Tabla de todos los materiales obtenidos en las pruebas iniciales

Tabla 13. Todos los materiales obtenidos en las pruebas iniciales

Prueba	Resultados	Figura
P1	Delgada y fácil de romper	
P2	Porosa y quebradiza	

P3

Polvo



P4

Porosa y quebradiza



P5

Delgada y frágil



P6 Grumosa y flexible



P7 Muy flexible



P8 Nada

P9

Delgada y dureza
media



P10

Porosa y quebradiza



P11

Frágil



P12

Dureza alta



12.2 Anexo 2: Encuesta en Google Forms

¡Muchas gracias por participar en esta encuesta! Tu opinión es muy valiosa para nosotros y nos ayudará a desarrollar un nuevo emprendimiento que se ajuste a tus necesidades y preferencias. El objetivo de esta encuesta es recopilar información sobre las percepciones y hábitos de consumo relacionados con productos desechables, tanto plásticos como biodegradables. Esta investigación forma parte del programa académico de la Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad de la Universidad Autónoma de Querétaro. La información que nos proporciones será tratada de manera confidencial y anónima. En ningún caso tus respuestas estarán vinculadas a algún dato que te identifique. Tu participación es completamente voluntaria y puedes retirarte de la encuesta en cualquier momento. Si tienes alguna duda sobre la investigación, no dudes en consultarnos antes, durante o después de tu participación a través del correo: linneth.paredes@uaq.mx

1. Correo
2. Género

Respuestas:

- Femenino
- Masculino
- Otro

3. Grupo de edad

Respuestas:

- 18-25 años
- 26-35 años
- 36-45 años
- 46-59 años
- 60+

4. Máximo nivel de estudios terminados

Respuestas:

- Primaria

- Secundaria
- Preparatoria
- Licenciatura
- Posgrado
- Otro

5. Ingreso mensual

Respuestas:

- Menos de \$8,000
- MX \$8,000 MX - \$23,999 MX
- \$24,000 MX - \$31,999 MX
- \$32,000 MX - \$40,000 MX
- Más de \$40,000 MX

6. Qué entiendes por "producto elaborado a partir de subproductos"?

Respuestas:

- Son productos que se generan a partir de desechos de la industria alimentaria.
- Son productos que se fabrican sin considerar el origen de sus materias primas.
- Son productos que fabrican a partir de plástico reciclado.
- Son productos que se crean al reutilizar residuos de la agroindustria.

7. ¿Qué beneficios tiene el uso de productos derivados de subproductos agroindustriales? Selecciona 3

Respuestas:

- Reducción de residuos
- Menor impacto ambiental
- Pueden ser desechados en cualquier lugar
- Son comestibles
- Degradación rápida
- Ninguno

- No lo sé

8. Qué significa el término "biodegradable"?

Respuestas:

- Si un material es biodegradable, se descompone a través de procesos naturales, con la acción de la luz solar.
- Si un material es biodegradable, está hecho completamente de materiales orgánicos no contiene ningún tipo de plástico.
- Si un material es biodegradable, se descompone por la acción de microorganismos en un periodo razonable de tiempo.
- Si un material es biodegradable, puede volver a integrarse en el medio ambiente sin causar daño.

9. ¿En qué tipo de producto sueles emplear más los plásticos de un solo uso?

Respuestas:

- Empaques de alimentos
- Cubiertos desechables
- Platos desechables
- Empaque para productos no alimenticios
- Otro:

10. ¿Con qué frecuencia compras o usas desechables plásticos?

Respuestas:

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- No realizo compras de desechables plásticos

11. ¿Cuánto estás dispuesto a pagar por un paquete de 25 cubiertos desechables?

Respuestas:

- Menos de \$20 MX

- \$20 MX - \$29 MX
- \$30 MX -\$39 MX
- Más de \$40 MX

12. ¿En qué ocasiones sueles utilizar desechables plásticos?

Respuestas:

- Fiestas
- Pedidos de comida a domicilio/comidas para llevar
- Reuniones de trabajo
- Comida diaria
- Ninguna ocasión

13. ¿Qué aspectos valoras de los desechables plásticos? Selecciona 3

Respuestas:

- Precio
- Resistencia
- Diseño
- Color
- Textura
- Materia prima
- Calidad
- Durabilidad
- Descarte fácil

14. ¿En qué lugar depositas los desechables después de utilizarlos?

Respuestas:

- En el bote de basura
 - En un contenedor de reciclaje
 - Los guardo
- Los tiro en el entorno

15. ¿En qué tipo de producto sueles emplear artículos biodegradables de un solo uso?

Respuestas:

- Bolsas
- Popotes
- Cubiertos desechables
- Platos desechables
- Ninguno

16. ¿En qué lugares has encontrado desechables biodegradables?

Respuestas:

- Supermercados
- Mercados ecológicos
- Internet
- Tiendas de la esquina
- Ningún lugar

17. ¿Cómo puedes identificar si un desechable es biodegradable?

Respuestas:

- Color
- Diseño
- Textura
- Etiqueta del empaque
- No sé cómo identificarlo

18. ¿Qué información buscas en la etiqueta del empaque para considerar que un desechable es biodegradable?

Respuestas:

- Certificaciones ambientales
- Materiales utilizados
- Frases que indiquen biodegradabilidad
- Símbolos de compostaje

- Indicación de que no contiene plástico convencional

19. ¿Cuántas marcas comerciales de desechables biodegradables conoces?

Respuestas:

- 0
- 1-3
- 4-5
- Más de 5

20. ¿Cuál de estas marcas biodegradables conoces?

Respuestas:

- Biofase
- Reyma
- Notpla
- AgroVerde
- Ninguna
- Otro:

21. ¿Cuánto estás dispuesto a pagar por un paquete de 25 cubiertos desechables biodegradables?

Respuestas:

- Menos de \$20 MX
- \$20 MX - \$29 MX
- \$30 MX -\$39 MX
- Más de \$40 MX

22. ¿ Con qué frecuencia compras o usas desechables biodegradables?

Respuestas:

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente

- No realizo compras de desechables biodegradables

23. ¿Qué te impide comprar desechables biodegradables? Selecciona 3.

Respuestas:

- Costo
- Diseño
- Materia prima
- Calidad
- Color
- Textura
- Falta de información de estos productos No sé donde comprarlos
- No me interesa

12.3 Anexo 3: Encuesta Focus group

Gracias por participar en este focus group. El objetivo de esta investigación es conocer tu opinión sobre el material elaborado a partir de orujo de uva y grenetina, con posible aplicación en productos desechables. Tu opinión es muy valiosa. Por favor, responde las siguientes preguntas de manera sincera. Las respuestas son anónimas y serán utilizadas únicamente con fines académicos y de investigación.

Género:

☐ Femenino ☐ Masculino ☐ Otro

Edad:

Carrera:

	Definitivamente compraría		Neutral	Definitivamente no lo compraría	
1. ¿Compraría utensilios desechables hechos a base de orujo de uva y grenetina?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	¿Por qué?:				
2. ¿Compraría empaques para alimentos secos hechos con el mismo material?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	¿Por qué?:				
3. ¿Compraría un paquete de 25 cucharas por \$30 pesos?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	¿Por qué?:				

4.¿Cómo consideras la relación calidad-precio del producto?

- ☐ Excelente
- ☐ Buena
- ☐ Neutral
- ☐ Mala
- ☐ Muy mala

¿Por qué?:

5.Saber que el producto se degrada en suelo y agua en menos de un año, ¿influye en tu decisión de compra?

- ☐ Influye mucho
- ☐ Influye algo
- ☐ Neutral
- ☐ Influye poco
- ☐ No influye

¿Por qué?:

6.¿Qué tan dispuesto estarías a cambiar tus hábitos de compra y preferir productos de este material sobre los de plástico convencional?

- ☐ Totalmente dispuesto
- ☐ Algo dispuesto
- ☐ Neutro
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

¿Por qué?:

Carta de consentimiento informado

Santiago de Querétaro., a __ de abril de 2025

Mediante la presente, hago constar mi participación voluntaria en la evaluación sensorial de un material a base de orujo de uva, grenetina, glicerol y ácido acético.

En caso de presentar alguna alergia a los componentes mencionados y/o a los alimentos con los que se probará la aplicación de este, me comprometo a informar al investigador y abstenerme de participar. De no hacerlo, asumo plena responsabilidad por cualquier consecuencia derivada de dicha omisión.

La actividad es de tipo experimental, consiste en que el consumidor evalúe la aceptabilidad del producto mediante una encuesta con escala de Likert. La información recabada será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación.

Se me ha informado que mi participación es completamente voluntaria, por lo que puedo retirarme en cualquier momento si así lo deseo.

Durante el desarrollo de la actividad, en caso de no comprender algún aspecto relacionado con el estudio, tengo la libertad de hacer cualquier pregunta. Si deseo conocer los resultados, puedo solicitar información enviando un correo a: linneth.paredes@uaq.mx.

Si usted desea participar, le pedimos que firme esta hoja, de lo contrario respetamos su decisión.

Nombre y firma del participante