

**Estudio para el desarrollo de empaques a partir de papel
biodegradable elaborado con residuos piña**

GERALDINE BERNAL VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2024

**ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE EMPAQUES A PARTIR DE PAPEL
BIODEGRADABLE ELABORADO CON RESIDUOS DE PIÑA**

Geraldine Bernal Villamizar

Trabajo de Grado para optar por el título de Diseñadora Industrial

Clara Isabel López Gualdrón

PhD. Ingeniería en el área de Gestión Tecnológica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2024

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis dos mascotas, Bojji y Lia, que me acompañaron durante la mayoría de este recorrido, pero no pudieron estar presente en el final del proceso.

A mis padres y hermanos por apoyarme durante todo el proceso de aprendizaje, por brindarme su amor y apoyo incondicional.

A mis amigos por siempre brindarme apoyo y soporte en cada situación que los necesité y, además, por haberme brindado la mejor experiencia de mi vida, los mejores recuerdos y haber hecho este proceso algo inolvidable.

A todos ustedes, muchas gracias, su contribución fue muy importante para la elaboración de este proyecto y la obtención de este nuevo logro.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la directora del proyecto, Clara Isabel López Gualdrón, y a la profesora Vivian Liceth Suarez por enseñarme, corregirme y brindarme su ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

Gracias a la organización Jornaleando la fibra de piña por permitirme participar en su proyecto.

Gracias a los docentes que me acompañaron durante todo el proceso educativo y compartieron el conocimiento que hoy me permite estar obteniendo este título.

Gracias a la escuela de Diseño Industrial y a la Universidad Industrial de Santander por haber sido mi hogar durante años.

Y finalmente muchísimas gracias a mi familia y amigos que no solo contribuyeron de alguna manera con nuestra formación profesional, sino que además nos ofrecieron apoyo, compañía e incondicionalidad en nuestras situaciones cotidianas.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO	17
3.	JUSTIFICACIÓN	19
4.	PREGUNTA DE DISEÑO	20
5.	OBJETIVOS	20
5.1	OBJETIVO GENERAL	20
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
6.	ALCANCES	21
7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1	PROCESO DE ELABORACIÓN PAPEL DE PIÑA	21
7.2	DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD	24
7.3	EMPAQUES EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	26
7.4	EMPAQUES DE FIBRAS NATURALES	27
8.	METODOLOGÍA	30
8.1	Fase de empatizar	31
8.2	Definir	31
8.3	Fase de idear	32
8.4	Fase de prototipar	32
8.5	Fase de evaluar	33
8.6	Actividades	34
9.	EMPATIZAR	35
9.1	El cultivo de piña	35
9.2	Selección de la aplicación de empaques a un mercado específico	38

9.3	Visita de campo Lebrija	39
9.4	Brief del proyecto	40
9.5	Definición de stakeholders	40
9.6	Customer Journey Map	42
10.	DEFINIR	42
10.1	Elaboración material de manera artesanal	42
10.2	Preparación de la fibra de piña	43
10.3	PROBETAS	44
10.4	REQUERIMIENTOS	54
10.5	Concepto de diseño	56
11.	IDEAR	56
11.1	Diseño del empaque	56
11.2	Generación de conceptos	56
11.3	SCAMPER	58
11.4	Análisis de alternativas	59
11.5	Modelo final	61
11.6	Ciclo de vida	62
12.	PROTOTIPAR	64
12.1	Prototipo funcional	65
13.	EVALUAR	71
13.1	Verificación	72
13.2	Validación	77
14.	APLICACIÓN DEL MATERIAL EN UN CONCEPTO DIFERENTE	83
15.	CONCEPTUALIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL EMPAQUE PROPUESTO	84

15.1	Materia prima	84
15.2	Transporte materia prima	85
15.3	Manufactura	85
15.4	Distribución	86
15.5	Uso	86
15.6	Manejo de fin de ciclo	86
16.	SOCIALIZACIÓN DEL EMPAQUE PROPUESTO	87
16.1	Socialización Jornaleando la Fibra de Piña	87
17.	DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL EMPAQUE	87
17.1	Análisis LCA	87
17.2	Materiales y metodología	89
17.3	Resultados y discusión	91
18.	CONCLUSIONES	96
	REFERENCIAS	98

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Hoja de cultivo de piña	21
Figura 2. Hojas picadas para descomposición.	22
Figura 3. Licuado de hojas descompuestas.	22
Figura 4. Fibra obtenida.	23
Figura 5. Elaboración de papel de piña	23
Figura 6. Papel de piña húmedo	23
Figura 7. Máquina de prensado	24
Figura 8. Cocoform, empaque natural elaborado con fibra de coco	27
Figura 9. Caja elaborada con hoja de plátano	28
Figura 10. Empaques de hojas de plátano en Tailandia.	28
Figura 11. Platos elaborados con fibra de bambú.	29
Figura 12. Botella elaborada con algas	29
Figura 13. Platos desechables hechos de hojas.	30
Figura 14 Desechos del cultivo de piña.	36
Figura 15. Visita de campo	39
Figura 16 Hoja de la cosecha de la piña.	43
Figura 17 Hoja de piña cortada en cocción	43
Figura 18 Fibra de la hoja piña.	44
Figura 19 Colbón casero.	45
Figura 20 CMC más fibra de piña	45
Figura 21 Gelatina sin sabor	46
Figura 22 Dulce de piña	46

Figura 23 Almidón de yuca	47
Figura 24 Fibra de piña más CMC	48
Figura 25 CMC más fibra de piña	48
Figura 26 Fibra de piña más gelatina sin sabor	48
Figura 27 Fibra de piña más colbón biodegradable.	49
Figura 28 Papel de piña más colbón biodegradable.	49
Figura 29 Probetas 1 a 6	49
Figura 30. Probeta 1, 2 y 3	51
Figura 31. Probetas 3, 4 y 5.	51
Figura 32. Probetas 6, 7 y 8.	51
Figura 33. Probetas 9, 10 y 11.	51
Figura 34. Probetas 13, 14 y 15.	52
Figura 35 Muestras de 30 gr en el horno.	52
Figura 36 Resultado prueba del horno	52
Figura 37 Concepto A.	56
Figura 38 Concepto B..	57
Figura 39 Concepto C.	57
Figura 40. Concepto D.	58
Figura 41 Medidas del empaque propuesto.	61
Figura 42. Modelo final	62
Figura 43 Proceso de ensamblaje empaque..	62
Figura 44 Ciclo de vida del producto.	63
Figura 45. Obtención de la fibra.	65
Figura 46. Preparación de superficie	65

	10
Figura 47. Fibra seca licuada	68
Figura 48. Prototipo final.	70
Figura 49. Modelo final..	71
Figura 50. Preparación de empaque para pruebas de verificación	73
Figura 51. Prueba de función 1_ Resistencia a la humedad..	74
Figura 52. Prueba de función 2_ Resistencia a la deformación por peso	75
Figura 53. Prueba 3_ Prueba física de transporte.	76
Figura 54. Prueba 4_ Olores y sabores	77
Figura 55. Resultado Escala SUS	81
Figura 56. Alternativa de maceta	84
Figura 57. Segunda alternativa de maceta.	85
Figura 58. Tercera alternativa de maceta	85
Figura 59. Ciclo de vida empaque propuesto.	89
Figura 60. Análisis de ciclo de vida empaque propuesto	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología para el proyecto.	34
Tabla 2. Propiedades de la fibra de hoja de piña	37
Tabla 3. Probetas prueba 1 a 6..	47
Tabla 4. Probetas prueba 2.	50
Tabla 5 Evaluación de probetas.	53
Tabla 6. Requerimientos de diseño..	54
Tabla 7. Matriz de selección	60
Tabla 8. Proceso de elaboración de material	66
Tabla 9. Proceso de elaboración lámina.	67
Tabla 10. Elaboración proceso optimizado	69
Tabla 11. Elaboración del empaque	70
Tabla 12. Pruebas de verificación.	72
Tabla 13. Pruebas de validación	78
Tabla 14. Resultados Test VisAWI	79
Tabla 15. Conclusiones test VisAWI	80
Tabla 16. Resultados Escala SUS	81
Tabla 17. Resultados percepción de comodidad y seguridad	82
Tabla 18. Impacto ambiental en la etapa de materia prima para el empaque propuesto.	92
Tabla 19. Impacto ambiental en la etapa de transporte de materia prima para el empaque propuesto	93

Tabla 20. Impacto ambiental en la etapa de manufactura del empaque propuesto.

93

Tabla 21. Impacto ambiental potencial empaque propuesto

94

RESUMEN

Título: Estudio para el desarrollo de empaques a partir de papel biodegradable elaborado con residuos de piña.¹

Autor: Geraldine Bernal Villamizar²

Palabras clave: EMPAQUE, SOSTENIBILIDAD, FIBRAS NATURALES, CICLO DE VIDA, BIODEGRADABLE

Descripción: Los residuos que produce el cultivo de piña posterior a su segunda cosecha son una problemática que enfrentan los productores de piña. Se usan tres procesos para deshacerse de estos residuos: el primero consiste en dejar que los residuos se descompongan en el campo, proceso que dura aproximadamente 13 meses lo cual es un limitante para el mismo productor. El segundo proceso es la quema de los residuos la cual genera contaminación dejando un impacto ambiental. El tercer proceso es la trituración y quema de los residuos por medio de herbicidas.

Jornaleando La Fibra De Piña es una organización social comunitaria, ubicada en el municipio de Lebrija, enfocada en la producción de pulpa y papel a partir de los residuos de la piña. Este proyecto busca expandir la aplicación de la fibra en diferentes productos para aportar positivamente en el perfil ambiental de dichos productos.

A raíz de la problemática ambiental generada por los procesos productivos y métodos de consumo de carácter lineal de los plásticos de un solo uso y la falta de empaques amigables con el medio ambiente; este proyecto desarrolló una nueva alternativa de empaque planteando el uso de fibras naturales, específicamente de los residuos en el cultivo de piña como materia prima en su fabricación.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Diseño Industrial.

ABSTRACT

Title: Study for the development of packaging from biodegradable paper made from pineapple waste.³

Author: Geraldine Bernal Villamizar⁴

Keywords: PACKAGING, SUSTAINABILITY, NATURAL FIBERS, LIFE CYCLE, BIODEGRADABLE

Description: The residues produced by the pineapple crop after its second harvest are a problem that pineapple producers face. Three processes are used to dispose of this waste: the first consists of letting the waste decompose in the field, a process that lasts approximately 13 months, which is a limitation for the same producer. The second process is the burning of waste which generates pollution leaving an environmental impact. The third process is the crushing and burning of the residues by means of herbicides.

Jornaleando La Fibra De Piña, is a community social organization, located in the municipality of Lebrija, focused on the production of pulp and paper from pineapple waste. This project seeks to expand the application of fiber in different products to positively contribute to the environmental profile of said products.

As a result of the environmental problems generated by the linear production processes and consumption methods of single-use plastics and the lack of environmentally friendly packaging; this project presented a new packaging alternative proposing the use of natural fibers, specifically from pineapple crop residues as raw material in its manufacture.

³ Degree Work

⁴ Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial Design

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Lebrija, Santander, se caracteriza por ser uno de los principales productores de piña en Colombia. En total cuentan con más de 5 mil hectáreas de piña y se producen más de 140 mil toneladas de este producto al año (Radio Nacional de Colombia, 2021).

Durante las cosechas, solo es utilizado el 45% de materia producida en un cultivo, es decir, solo se usa la fruta como elemento de venta, la hoja o la penca se queman o se desechan (Periódico 15, 2017). Esta es una de las problemáticas que enfrentan los y las productores de piña, poder realizar un manejo adecuado de los residuos que produce dicho cultivo posterior a su segunda cosecha, momento en el que se saca del suelo y se esparce por el terreno (Universidad de Costa Rica, 2018).

Existe tres opciones para el manejo de estos residuos, la descomposición natural, la quema de los desechos y la trituración de los desechos. Algunos de estos procesos son una limitante para el mismo productor ya que el cultivo de piña es intensivo. Estos procesos también tienen varias desventajas como la creación de hongos y suman a la contaminación ambiental (Universidad de Costa Rica, 2018).

Derivado de la situación, un colectivo del municipio de Lebrija Santander dedicado a las labores del campo, vieron en esto una oportunidad y crearon el proyecto denominado “Jornaleando la fibra de piña”. La misión del proyecto consiste en recolectar las hojas de los residuos del cultivo de piña y utilizarla como materia prima para la elaboración del papel. Esta iniciativa busca incrementar la aplicación de esta fibra de piña en distintos productos como bolsas, empaques, entre otras, para disminuir el impacto ambiental que estos productos generan actualmente y diversificar el uso de la materia prima.

Este proyecto se desarrolló por medio de una práctica social, esto como un mecanismo de proyección social que facilita el conocimiento del entorno, la actualización y aplicación de conocimientos teóricos y prácticos para aportar a la solución de problemas y necesidades reales de las empresas, organizaciones y sociedad en general. Para este proyecto se planeó, desde el diseño industrial, proponer alternativas de soluciones proyectuales orientadas a mejorar las condiciones materiales de existencia de las comunidades.

Con base en el panorama expuesto, viendo la oportunidad de evaluar el uso de papel de piña para elaborar diferentes productos, este proyecto va dirigido al desarrollo de una nueva alternativa de empaque planteando el uso de fibras naturales, específicamente de los residuos en el cultivo de piña como materia prima en su fabricación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO

En Colombia, la producción agropecuaria se ha consolidado como uno de los renglones de mayor importancia en los sectores productivos del país, solo por detrás de la industria petrolera. La piña tiene gran relevancia con un área sembrada de 36,105 hectáreas en toda Colombia (Minagricultura, 2019).

Santander es una de las mayores zonas de producción de piña, con un porcentaje del 37% a nivel nacional (Minagricultura, 2019). Por lo general, en el año pueden realizarse dos cosechas; se genera un rastrojo en la segunda cosecha o incluso desde la primera si hay efectos climáticos o enfermedades. Estos desechos son eliminados por medio de procesos de quema, triturado o dejados a la intemperie, procesos que son poco amigables con el medio ambiente y que toman de 13 a 15 meses, interrumpiendo y demorando las posteriores cosechas.

La organización social comunitaria *Jornaleando la fibra de piña* vio una alternativa diferente con los residuos y decidió aprovecharlos para crear productos amigables con el medio ambiente y reemplazar materiales como el plástico o el poliestireno, que tienen características desfavorables para el medio ambiente (Sarria Villa & Gallo Corredor, 2016). Hojas y tallos de la piña, que antes eran quemados por los campesinos luego de cortar el fruto, ahora están siendo transformados en papel y bolsas en Lebrija, Santander.

El proceso es liderado por padres de familia, quienes se encargan de recoger el sobrante de la piña en la zona rural. La materia orgánica pasa por un proceso que va desde su maduración en agua hasta la maceración. Según Ramón Díaz, líder del proyecto, en una entrevista con *BLU Radio*, los residuos “los picamos en partes, luego los echamos en agua para descomposición y posteriormente hacemos un proceso de cocido; finalmente, un proceso de macerado, y de esta manera nosotros extraemos esa fibra” (BLU Radio, 2021).

Con esta iniciativa, el municipio de Lebrija, Santander, busca promover su patrimonio cultural enlazando la conservación de su entorno ambiental de manera

armónica con la producción de piña. Esta organización comunitaria tiene como propósito la producción sostenible de pulpa, papel y sus derivados a partir de los residuos de piña, contribuyendo a la construcción de identidad territorial. Sin embargo, aún no tienen claridad en el proceso necesario para la elaboración de otros productos a partir del material utilizado para la creación del papel.

Actualmente en Colombia se vive una crisis ambiental debido a la contaminación por el uso excesivo del plástico, con un consumo de 1,250,000 toneladas al año, donde el 56% es de uso único y es producido por la industria de embalaje. Además, cerca del 74% de estos envases son los desechos que se encuentran con mayor frecuencia y terminan en rellenos sanitarios o islas de basura (Greenpeace Colombia, 2018).

Finalmente, mediante la herramienta del diagrama de Fishbone, que se puede apreciar en el apéndice A, se identifican las causas del problema planteado, que es el desconocimiento del potencial de la fibra de hoja de piña como materia prima para la elaboración de empaques. Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto diseñó un empaque utilizando fibras naturales, específicamente los residuos del cultivo de piña, como materia prima en su fabricación.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, las nuevas generaciones están más conscientes de sí mismas y de su entorno. Existe una gran preocupación por parte de los consumidores por proteger al planeta de la contaminación ambiental y por eliminar prácticas que vayan en contra de la sustentabilidad ambiental. Esto genera una serie de expectativas y exigencias hacia las empresas, demandando productos y procesos que no impacten negativamente el medio ambiente.

Desde la organización social *Jornaleando la fibra de piña*, se busca investigar si el material utilizado para elaborar hojas de papel con fibra de piña puede emplearse en otras aplicaciones. Según pruebas realizadas por la asociación encargada del proyecto, el material utilizado para la elaboración del papel tarda en descomponerse a la intemperie aproximadamente 3 meses; este proceso se acelera si el material entra en contacto con el agua.

Con esta iniciativa se busca reemplazar materiales como el poliestireno o el plástico y ofrecer una solución con características más amigables para el medio ambiente (Sarria Villa & Gallo Corredor, 2016). Además, se busca dar una solución a la problemática de los productores de piña que, después de su segunda cosecha, no encuentran la manera adecuada de desechar los residuos que produce este cultivo, siendo las soluciones actuales perjudiciales para el medio ambiente.

Por lo tanto, planteando un producto desde un punto de vista ecosostenible y utilizando fibras naturales, se obtuvo un empaque biodegradable con un perfil ambiental mejor al que existe actualmente. El uso de los residuos de piña para el desarrollo de este proyecto es una alternativa importante, ya que su disponibilidad y acceso en la región de Santander es alta.

4. PREGUNTA DE DISEÑO

Con el desarrollo de este proyecto, se quiere dar respuesta a las preguntas, ¿Se puede usar fibras naturales derivadas del cultivo de piña como materia prima para la creación de un empaque biodegradable? ¿Por medio de qué proceso se puede transformar el papel biodegradable elaborado con residuos de piña para crear empaques biodegradables?

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un empaque con un enfoque ecosostenible utilizando como materia prima el papel biodegradable elaborado con residuos de la piña complementando el proyecto “Jornaleando la fibra de piña” elaborado en el municipio de Lebrija.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características de diferentes propuestas de combinaciones de materiales para identificar aquellos con mejor composición para la elaboración del empaque.
- Determinar el potencial de la fibra de piña como materia prima del empaque proyectado, reconociendo por medio de la literatura su disponibilidad, las características físicas, mecánicas y aspectos ecológicos de la misma para definir la viabilidad de su uso.
- Determinar el tipo de empaque a elaborar evaluando la posible aplicación a partir de pruebas de resistencia realizadas al material.
- Diseñar un empaque utilizando como materia prima fibras naturales de los residuos del cultivo de piña.

6. ALCANCES

Con el desarrollo de este proyecto se obtuvo el prototipo funcional de un empaque biodegradable desarrollado con fibra de piña. El alcance de TRL es de nivel 5, es decir, se realizará la validación del prototipo funcional del empaque en un contexto relevante cercano a las condiciones reales de la actividad.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 PROCESO DE ELABORACIÓN PAPEL DE PIÑA

En una visita realizada al municipio de Lebrija, Santander, el día 11 de septiembre de 2021 se pudo observar más de cerca el proceso utilizado para la elaboración de papel de piña. Actualmente el lugar de trabajo y área de recolección es de solo una finca, a futuro se espera extender a otras veredas y a todo el municipio de Lebrija. El primer paso para el proceso es la recolección del residuo que posteriormente es picado en pedazos pequeños y dejado en agua para que pueda descomponerse, entre más tiempo dure este proceso más fácil será el manejo de las fibras obtenidas.



Figura 1. Hoja de cultivo de piña. Foto de registro.

El siguiente paso es cocinar el material ya descompuesto para obtener la fibra. Después de la cocción se deja reposar durante varias horas para poder continuar con el proceso.



Figura 2. Hojas picadas para descomposición. Foto de registro.

Después de esto, el material obtenido se pasa por la licuadora para que poco a poco la fibra se termine de desprender de la hoja, en este paso es importante ir revolviendo el material.



Figura 3. Licuado de hojas descompuestas. Foto de registro.

Con la fibra separada de la hoja del cultivo de piña se prepara la mezcla para realizar el papel, con ayuda de un molde elaborado con malla y madera se da forma al material para formar el papel, con un trapo se retira el exceso de humedad en el molde y el material es colocado sobre el mismo trapo en una mesa. Posteriormente se utiliza una prensa para terminar de sacar el agua extra del papel y finalmente es colgado para su secado final.



Figura 4. Fibra obtenida. Foto de registro.



Figura 5. Elaboración de papel de piña. Tomado de: <https://www.radionacional.co>



Figura 6. Papel de piña húmedo. Foto de registro.



Figura 7. Máquina de prensado. Foto de registro.

7.2 DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD

El diseño para la sostenibilidad busca optimizar y cambiar un aspecto o varios del ciclo de vida de un producto para reducir el consumo de energía o recursos, contaminar menos y mejorar el fin de vida de un producto para que pueda ser reutilizado o reciclado de forma adecuada. El diseño sostenible mejora la eficiencia, la calidad del producto y las oportunidades del mercado mientras que al mismo tiempo se mejora el rendimiento ambiental (UNEP, 2016).

Actualmente en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible creó el Sello Ambiental Colombiano (SAC) y se reglamentó su uso mediante la resolución 1555 de 2005 expedida conjuntamente con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Este sello consiste en una etiqueta ecológica que se obtiene de forma voluntaria, otorgada por una institución denominada Organismo de Certificación. Este sello orienta la estrategia comercial de los productores, mejorando su competitividad y la imagen de su organización. A nivel nacional promueve un desarrollo sostenible desde el punto de vista económico y ambiental. Una de las ventajas de identificar los productos con estas etiquetas es que permite diferenciar los productos que tienen un mejor desempeño ambiental. Para poder optar por este sello, el Ministerio de Ambiente estableció las siguientes características (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.):

- Hace uso sostenible de los recursos naturales que emplea (materia prima e insumos).
- Emplea procesos de producción que involucran menos energía y hacen uso de fuentes de energía renovables o ambas.
- Considera aspectos de reciclabilidad, reutilización o biodegradabilidad.
- Usa materiales de empaque preferiblemente reciclables, reutilizables o biodegradables y en cantidades mínimas.
- Emplea tecnologías limpias o que generen un menor impacto relativo sobre el ambiente e indica a los consumidores las mejores formas sobre su disposición final.

5.1.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD

Para que un producto sea considerado como sostenible, este debe, después de su vida útil reintegrarse al ciclo de vida bajo el principio de economía circular. La economía circular aboga por utilizar la mayor parte de materiales biodegradables posibles en la fabricación de bienes de consumo para que estos puedan volver a la naturaleza sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil.

Las estrategias que tiene el diseño para la sostenibilidad son siete; estas estrategias generales cubren una amplia variedad de direcciones de mejora y, en forma paralela, las fases del ciclo de vida de los productos (UNEP, 2016):

- Selección de materiales de bajo impacto
- Reducción de uso de materiales
- Optimización de las técnicas de producción
- Optimización del sistema de distribución
- Reducción de impacto durante el uso
- Optimización de la vida útil inicial
- Optimización del sistema final de la vida útil

En el desarrollo de este proyecto se analizaron los impactos de la etapa de materia prima, producción y disposición final, enfocado en la estrategia de selección de materiales de bajo impacto, optimización de las técnicas de producción y optimización del sistema final de la vida útil.

5.1.3 METODOLOGÍA LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), también conocido como Life Cycle Assessment (LCA), es una metodología que permite estimar y evaluar de manera objetiva los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su ciclo de vida. En Colombia, el marco normativo para el análisis de ciclo de vida está regulado principalmente por las normas NTC-ISO 14040 y NTC-ISO 14044. Esta metodología se empleará para definir las características ambientales del ciclo de vida del empaque que se diseñará.

7.3 EMPAQUES EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Los empaques juegan un papel muy importante en la vida de las personas. En el campo de los alimentos, estos cumplen la función de contener, proteger, informar y atraer, buscando satisfacer las exigencias de los clientes (Navia, 2013).

Los diseñadores de empaques tienen una responsabilidad importante: asegurar que el alimento llegue inocuo a los consumidores. Se debe tener en cuenta todos los componentes del empaque, incluyendo la materia prima, aditivos, plastificantes y colorantes, con el fin de prevenir cualquier peligro que pueda provenir del empaque y que ponga en riesgo la seguridad del consumidor.

La relación que existe entre el empaque y el alimento puede clasificarse de la siguiente manera (Hotchkiss, 1988):

- **Migración:** Es la transferencia de componentes desde el empaque hacia el alimento durante su almacenamiento o preparación.

- **Permeación de gases y vapor de agua:** Hace referencia a los procesos de transporte de gases y vapor de agua desde el interior hacia el exterior del sistema empaque/alimento, y viceversa.
- **Sorción y/o permeación de vapores orgánicos:** Cuando el sistema de empaque/alimento se expone a olores indeseables (almacenamiento inapropiado), el empaque puede absorberlos. También puede ocurrir cuando el olor deseable propio del producto empacado se pierde por la permeación del empaque.
- **Transparencia de los empaques alimentarios a la luz:** La luz, principalmente en longitudes de onda corta, puede catalizar reacciones adversas, como la oxidación de los alimentos, lo que puede conducir a decoloración, pérdida de nutrientes o desarrollo de malos olores.

7.4 EMPAQUES DE FIBRAS NATURALES

Actualmente, existe una creciente preocupación entre consumidores y productores por el medio ambiente. Por ello, se está buscando sustituir productos de un solo uso por alternativas amigables con el medio ambiente, explorando materiales biodegradables para reemplazar los polímeros sintéticos.

La implementación de fibras naturales para el desarrollo de empaques ecosostenibles es una de las opciones más óptimas. Se utilizan hojas de diferentes especies vegetales, tallos e incluso cáscaras de algunas frutas.



Figura 8. Cocomform, empaque natural elaborado con fibra de coco. Tomado de:

<http://www.enkev.com/>

Cocoform es un material elaborado a partir de una combinación de 60% fibras de coco y 40% látex natural. Este compuesto ofrece una fácil formabilidad en formas complejas y buena estabilidad dimensional (Material District, 2016).

Otra solución implementada es aprovechar las características de algunas hojas resistentes como la de plátano y elaborar empaques como lo podemos observar en la figura 9. En Tailandia, con el objetivo de reducir el uso de plástico de un solo uso, el supermercado Rimping utiliza hojas de plátano para empaquetar verduras como lo podemos observar en la figura 10 (Directorio Forestal Maderero, 2019).



Figura 9. Caja elaborada con hoja de plátano. Tomado de: <http://www.noticias.com>



Figura 10. Empaques de hojas de plátano en Tailandia. Tomada de:
<https://www.forestalmaderero.com/>

Karta-Pack Bamboo es una alternativa ecológica al embalaje de plástico. El material está compuesto por fibras de bambú compostables y biodegradables, derivadas de residuos agrícolas. Usando tecnología de pulpa moldeada, el material se moldea en la forma deseada (Directorio Forestal Maderero, 2018).



Figura 11. Platos elaborados con fibra de bambú. Tomado de: <http://www.forestmadero.com>



Figura 12. Botella elaborada con algas. Tomado de: <http://www.ecoinventos.com>

En 2017, un estudiante islandés utilizó algas para crear una botella biodegradable. Para resolver este problema comenzó a estudiar las fortalezas y debilidades de los distintos materiales, hasta que encontró uno que tenía las cualidades ideales para ser transformado en una botella de agua. El material es totalmente seguro para el almacenamiento de bebidas consumidas por los seres

humanos y su descomposición comienza exactamente cuando la botella está vacía (Ecoinventos, 2017).



Figura 13. Platos desechables hechos de hojas. Tomado de:
<http://www.ecoinventos.com>

En el año 2018, preocupados por la gran cantidad de utensilios de un solo uso utilizados para servir comida, un grupo de investigadores de la universidad de Naresuan, en Tailandia, han desarrollado platos desechables hechos de hojas de árboles (Ecoinventos, 2018).

8. METODOLOGÍA

La metodología de estudio aplicada al proceso de diseño está basada en la estrategia del “Design Thinking” propuesto por David Kelley, que consta de cinco fases consecutivas: Empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar, para la obtención de resultados que permitan validar y verificar los productos teniendo en cuenta el público objetivo. Los lineamientos de las actividades se seguirán a partir de los objetivos planteados en el proyecto, para ello se tiene en cuenta herramientas metodológicas basadas en la metodología de diseño estratégico.

8.1 Fase de empatizar

Para iniciar con la investigación, se comienza con la búsqueda sistematizada sobre los aspectos relevantes en la problemática estudiada, permitiendo comprender y relacionar las características intrínsecas y extrínsecas para generar soluciones que sean coherentes con la realidad.

8.1.1 Objetivos

- Conocer el contexto del problema
- Identificar los usuarios y clientes potenciales con sus necesidades
- Entender a fondo el problema
- Definir los stakeholders

8.1.2 Actividades

- Búsqueda sistematizada sobre las propiedades de la hoja de piña
- Observación de campo sobre el proceso de elaboración de papel de piña
- Realizar estudio del arte sobre los empaques elaborados actualmente con fibras naturales
- Análisis de documentos
- Realizar el usuario arquetipo y mapa de empatía
- Realizar un Customer Journey Map para conocer las acciones de los usuarios frente al empaque

8.2 Definir

En este proceso se selecciona la información importante obtenida en los estudios realizados en el paso anterior con el fin de comenzar a definir los requerimientos de diseño y finalmente tener una visión del producto a desarrollar.

8.2.1 Objetivos

- Definir el problema y objetivos
- Definir los requerimientos de diseño
- Definir el material a utilizar

8.2.2 Actividades

- Organizar los datos obtenidos en la etapa de empatizar
- Realizar pruebas de la fibra de piña combinadas con otros materiales
- Evaluar las propuestas desarrolladas y definir el material a utilizar
- Definir en que campo se aplicará el empaque a proponer
- Especificar los requerimientos de diseño y sus respectivos parámetros

8.3 Fase de idear

Una vez establecidos los requerimientos de diseño, comienza la fase de generación de ideas teniendo en cuenta la investigación realizada anteriormente. Esta fase tiene como objetivo generar múltiples opciones de diseño que brinden una solución a la problemática establecida.

8.3.1 Objetivos

- Proponer alternativas de diseño para el empaque teniendo en cuenta la optimización del material

8.3.2 Actividades

- Realizar un brainstorming para determinar la forma en el diseño del empaque
- Desarrollar diferentes conceptos y alternativas de diseño
- Analizar y evaluar las ideas teniendo en cuenta los requerimientos planteados con el fin de escoger la opción más viable
- Evolucionar la idea escogida con ayuda de la herramienta SCAMPER

8.4 Fase de prototipar

En esta fase se busca materializar la alternativa final realizando prototipos con diferentes niveles de calidad hasta llegar a un prototipo funcional que permita ser validado posteriormente.

8.4.1 Objetivos

- Construir prototipos funcionales del empaque planteado para realizar posteriormente pruebas de validación y verificación.

8.4.2 Actividades

- Crear un prototipo de baja fidelidad para comprobar medidas y encajes del empaque planteado.
- Elaborar un prototipo funcional del empaque planteado con el material seleccionado.
- Plantear plan de verificación y realizar verificaciones de los componentes que constituyen los artefactos e intervienen en su funcionamiento correcto.
- Realizar cambios en el diseño de ser necesario.
- Elaborar en el diseño de detalle del empaque.

8.5 Fase de evaluar

Esta fase del proyecto se va a enfocar en la aplicación de pruebas con usuarios que validen el producto, cumpliendo con los objetivos establecidos y los requerimientos de diseño definidos, se validará el empaque desarrollado bajo las condiciones relevantes cercanas a la realidad.

8.5.1 Objetivos

- Evaluar la aceptación del empaque creado por clientes y usuarios.

8.5.2 Actividades

- Diseñar el protocolo de la prueba de validación
- Realizar la prueba de validación del empaque bajo condiciones cercanas a la realidad de acuerdo con el protocolo de validación diseñado.
- Analizar los datos obtenidos de la prueba de validación con usuarios.
- Analizar datos adicionales de satisfacción después de la interacción con el producto.
- Construir informe de validación con la información y sus conclusiones.
- Realizar descripción del proceso productivo, así como sus costos de producción y los costos para el usuario.

- Realizar conclusiones del proyecto.
- Plantear recomendaciones de diseño pertinentes para realizar mejoras en un futuro.

8.6 Actividades

Para el desarrollo de la metodología se usan herramientas que tienen una secuencia lineal del proyecto y están divididas por las etapas respectivas de la metodología implementada teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto con sus respectivos objetivos específicos. En la siguiente tabla se encuentra la información detallada:

Tabla 1. Metodología para el proyecto. Autor: Elaboración propia

METODOLOGÍA PARA EL PROYECTO				
	OBJETIVO	PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	HERRAMIENTA
E M P A T I Z A R	Analizar el problema planteado, el contexto e identificar las necesidades del cliente y usuario	Realizar vigilancia tecnológica	Busqueda sistematizada sobre las propiedades de la hoja de piña	Análisis de documentos
		Observación de campo	Observación de campo sobre el proceso de elaboración del papel de piña	Registro fotográfico
		Identificar el estado del arte	Busqueda de empaques y proyectos similares	Benchmarking
		Identificar tareas	Realizar un Customer Journey Map para conocer las acciones de los usuarios frente al empaque	Customer Journey Map
D E F I N I R	Determinar los requerimientos que debe cumplir el empaque	Recolección	Organizar los datos obtenidos	Recolección de datos
		Establecer los requerimientos del producto	Desinir requerimientos de diseño para el empaque a proponer	PRS
		Desinir el problema y sus objetivos	Analizar la información recolectada para definir el problema, al igual que sus causas y consecuencias	Diagrama fishbone
		Identificar material	Realizar pruebas de la fibra combinada con otros componentes	Lluvia de ideas
I D E A R	Proponer alternativas de diseño para el empaque teniendo en cuenta la optimización del material	Desarrollar ideas	Realizar una lluvia de ideas de posibles conceptos de diseño	Brainstorming
		Generar ideas	Desarrollar diferentes alternativas de diseño que reunan los requerimientos definidos	Alternativas de diseño
		Seleccionar alternativa	Evaluar las propuestas de alternativas teniendo en cuenta los requerimientos	Matriz de selección de Karl T. Ulrich

P R O T O T I P A R	Construir prototipos funcionales del empaque planteado para realizar posteriormente pruebas de validación y verificación	Modelo funcional	Construir los prototipos funcionales para la validación	Prototipos funcionales
		Planear protocolo	Realizar el protocolo o plan de verificación	Plan de verificación
		Verificar alternativas	Aplicar el plan de verificación para garantizar el correcto funcionamiento del empaque	Verificación
		Concretar diseño	Elaborar el diseño de detalle de los artefactos	Diseño de detalle
E V A L U A R	Evaluar la aceptación del empaque creado por clientes y usuarios	Plantear protocolo	Plantear protocolo o plan de validación	Plan de validación
		Realizar validación	Aplicar plan de validación	Validación
		Recopilar y analizar	Recolectar y analizar los datos obtenidos	Informe de validación
		Rediseño final del prototipo	Realizar correcciones del prototipo en términos de usabilidad, estética y función	Prototipo de presentación final

9. EMPATIZAR

En esta fase se busca recaudar la mayor información posible mediante herramientas centradas en la observación, el análisis del contexto y las necesidades de los usuarios. Se utilizaron diferentes herramientas con el propósito de determinar los problemas y necesidades de los usuarios.

9.1 El cultivo de piña

9.1.1 Conceptualización

La piña pertenece al género *Ananas*, el cual se distingue de los otros géneros de la misma familia porque el fruto es un sincarpio. Es una planta herbácea perenne, es decir, vive más de dos años (Serna, 1998). Existen 4 variedades de piña que se distinguen por las características de las hojas (tamaño, color, borde y forma) y del fruto (color, tamaño, forma, sabor y usos).

Durante las cosechas, solo se utiliza el 45% de la materia producida en un cultivo; es decir, solo se comercializa la fruta, mientras que las hojas y las pencas se queman o se desechan (Periódico 15, 2022). Se realizan tres cosechas; durante la

última, las hojas y el tallo se cortan para preparar el terreno para la siguiente cosecha. Estos desechos se eliminan mediante procesos de quema, trituración o dejándolos a la intemperie, lo cual es poco amigable con el medio ambiente y demora de 13 a 15 meses, interrumpiendo y retrasando las cosechas posteriores.

En Lebrija, Santander, se vio la oportunidad de convertir estos desechos en papel y sus derivados aprovechando la fibra que contiene las hojas que antes eran desechadas.

El presente proyecto se basó en la utilización de hojas de la variedad Perolera, cultivada en el municipio de Lebrija, Santander, las cuales son largas y estrechas, de color verde y sin espinas a los lados, únicamente en la punta.



Figura 14 Desechos del cultivo de piña. Tomado de:

https://agfstorage.blob.core.windows.net/misc/FP_de/2019/11/29/musa3.JPG

9.1.2 Disponibilidad

La piña se siembra en todas las regiones cálidas de Colombia, en 20 departamentos, y para el año 2019 se estima que hay alrededor de 32.700 hectáreas de piña sembradas con las variedades MD2 (Oro Miel), Manzana, Perolera, Cayena lisa. El departamento de Santander representa un área sembrada del 37% y es aquí donde se concentra la mayor producción con una participación del 43% ((Minagricultura, 2019).

Colombia representa ventajas comparativas con muchos países productores de piña, en especial relacionados por la producción de fruta durante todo el año, con lo que se asegura una presencia permanente tanto en los mercados nacionales

como internacionales (Salazar, 1992). Esta característica del cultivo permite tener una disponibilidad de hojas estable a lo largo de todo el año.

9.1.3 Propiedades

La fibra de la hoja de piña destaca por sus propiedades mecánicas superiores en comparación con otras fibras vegetales, lo que la convierte en una opción atractiva para diversas aplicaciones en la industria. Como se detalla en la Tabla 1, estas propiedades incluyen una alta densidad, una notable resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad elevado, lo que sugiere que la fibra de piña es robusta y resistente.

Tabla 2. Propiedades de la fibra de hoja de piña (Kasim et al., 2015)

Propiedad	Valor
Densidad (g/cm ³)	1.526
Punto de ablandamiento (°C)	104
Resistencia a la tracción (MPa)	170
Módulo de elasticidad (MPa)	6260
Rigidez específica (MPa)	4070
Elongación de ruptura (%)	3
Recuperación de humedad (%)	12

- **Densidad:** La fibra de hoja de piña tiene una densidad de 1.526 g/cm³, lo que indica que es relativamente densa en comparación con otras fibras vegetales. Esta propiedad es crucial para aplicaciones que requieren materiales con un buen equilibrio entre peso y resistencia.
- **Punto de ablandamiento:** Con un punto de ablandamiento de 104°C, la fibra puede soportar temperaturas relativamente altas antes de comenzar a perder sus propiedades estructurales. Esto la hace adecuada para aplicaciones que implican exposición a temperaturas moderadas.

- **Resistencia a la tracción:** La resistencia a la tracción de 170 MPa sugiere que la fibra es bastante fuerte y puede soportar cargas significativas sin romperse. Esta característica es esencial para aplicaciones que requieren alta durabilidad y resistencia mecánica.
- **Módulo de elasticidad:** El módulo de elasticidad de 6260 MPa indica que la fibra de piña tiene una alta rigidez, lo que contribuye a su capacidad para mantener su forma y estructura bajo carga.
- **Rigidez específica:** Con una rigidez específica de 4070 MPa, la fibra ofrece una combinación favorable de rigidez y peso, haciéndola eficiente para aplicaciones donde se requiere un material ligero pero resistente.
- **Elongación de ruptura:** La elongación de ruptura del 3% sugiere que la fibra tiene una capacidad limitada para estirarse antes de romperse, lo que implica que es más rígida y menos flexible en comparación con otras fibras.
- **Recuperación de humedad:** La recuperación de humedad del 12% indica que la fibra puede absorber y liberar humedad en respuesta a cambios en el ambiente, una característica importante para mantener las propiedades mecánicas del material en diversas condiciones de humedad.

Estas propiedades hacen que la fibra de hoja de piña sea una alternativa viable y eficiente para aplicaciones en empaques sostenibles, textiles y otros productos industriales, proporcionando un equilibrio entre resistencia, durabilidad y características medioambientales favorables.

9.2 Selección de la aplicación de empaques a un mercado específico

La organización Jornaleando la fibra de piña tiene como objetivo incrementar la aplicación de la fibra de piña en distintos productos para disminuir el impacto ambiental que se genera actualmente y diversificar el uso de la materia prima. Por otro lado, la demanda actual se basa en el tema de las bolsas y cajas para empaclar comidas de restaurantes. Según Kantar División Insights, en Colombia,

durante un mes, 9 de cada 10 personas pide un domicilio y cada usuario lo solicita 4,5 veces en promedio durante el mismo periodo (Kantar, 2020). Esta cifra ha venido en aumento en los últimos años debido a la pandemia y el riesgo de contagio, los servicios de domicilio en el país han llegado a cifras ascendentes de hasta casi un 30% comparado con los números de los años anteriores al estado de emergencia (Portafolio, 2020).

Con base en esta tendencia, el proyecto propuesto se enfoca en desarrollar empaques para comida rápida destinados a los servicios de domicilio, utilizando la fibra de piña como materia prima sostenible.

9.3 Visita de campo Lebrija

Como primer paso se realizó una visita de campo al municipio de Lebrija (Figura 15), junto con los encargados de la organización social, con el objetivo de profundizar en la problemática, conocer atributos de la fibra y el proceso de elaboración del papel.



Figura 15. Visita de campo. Foto de registro.

Con esta actividad se pudo conocer detalladamente el proceso de elaboración del papel de piña, desde la recolección de las hojas del cultivo, la limpieza de las hojas, la separación de las fibras para finalmente convertirlo en papel.

9.4 Brief del proyecto

Se realizó un brief (VER Apéndice B) para tener una visión o idea de cómo abordar el proyecto y garantizar un buen diseño del empaque elaborado con fibras de piña.

En el brief se plantea la esencia del proyecto la cual consiste en generar un empaque elaborado con la fibra obtenida de las hojas de la cosecha de piña que antes eran desechadas en el municipio de Lebrija, Santander. Se pone en evidencia el objetivo del proyecto para tener un punto de referencia fijo durante el desarrollo de este.

Se establece la problemática actual que sería reemplazar materiales como el poliestireno o el plástico y dar una solución con características más amigables para el medio ambiente, con esto se busca reducir el uso de los empaques de un solo uso que están elaborados con materiales altamente contaminantes y buscar que los restaurantes de comidas rápidas opten por empaques biodegradables.

Posteriormente se definieron las condiciones físicas del entorno; “Municipio de Lebrija, que se encuentra ubicado a 1.016 m de altitud sobre el nivel del mar, en el departamento de Santander, a 15 Km de Bucaramanga y a 500 Km de la capital del país Bogotá”, las condiciones ambientales; “Temperatura media de 21,4°C con un porcentaje de humedad relativa de 85,3”.

9.5 Definición de stakeholders

9.5.1 Clientes

Los clientes objetivo para este proyecto son los establecimientos que comercializan comidas rápidas, específicamente hamburguesas, esto porque son muy comunes los envases de un solo uso fabricados en su mayoría por poliestireno expandido.

9.5.2 Factores de inclusión

- Restaurantes de comida rápida que manejen la venta de sus productos a domicilio
- Restaurantes de comidas rápidas que usen empaques de un solo uso.

9.5.3 Usuarios secundarios

Los usuarios secundarios son los trabajadores de los establecimientos de comidas rápidas, ellos deben interactuar con los envases durante la preparación de los alimentos, entender el proceso de ensamblaje para el caso del empaque y cómo deben ir dispuestos los envases dentro de este.

9.5.4 Usuarios primarios

Los usuarios primarios son aquellas personas que piden frecuentemente comidas rápidas a domicilio, ellas son las que interactúan principalmente con el empaque.

9.5.5 Perfil del usuario

Para diseñar una propuesta de valor, se usó la metodología de diseño de canvas, la cual nos sugiere crear dos lienzos, uno es un perfil de los usuarios involucrados, donde aclaramos la comprensión que se tiene sobre él, se describe de manera más estructurada y detallada un segmento del cliente específico; esto se divide en trabajos, frustraciones y alegrías.

Los trabajos del cliente describen aquello que intentan resolver en su vida personal y laboral tal como lo expresan sus propias palabras. Las frustraciones describen los malos resultados riesgos y obstáculos relacionados con los trabajos del cliente. Las alegrías describen los resultados que quieren conseguir los clientes a los beneficios concretos que buscan (Osterwalder, 2015, pp. 8-9).

Basado en lo anterior se realizan tres lienzos del perfil de usuario (VER apéndice C) ya que este proyecto presenta tres clientes; el primero sería la comunidad sembradora de piña, en segundo lugar, los locales de comidas rápidas que realizan pedidos a domicilio y por último los clientes que piden servicio a domicilio.

Con los planteamientos de los lienzos, se pudieron identificar los principales deseos y necesidades de los clientes, de igual forma se plantea un mapa de valor (VER apéndice D) donde se diferencia el creador de alegrías de los usuarios, el aliviador de frustraciones y los productos y servicios.

9.6 Customer Journey Map

Se realizó un customer Journey Map (VER Apéndice E) para tener en cuenta las diferentes emociones y sentimientos que puede tener un cliente al momento de realizar las diferentes actividades que se presentan al ordenar y recibir un pedido de comida. A partir de estos sentimientos se determinaron las causas que los generan, ya sean positivas o negativas, y así se encontraron posibles problemas o necesidades al momento de realizar estas tareas.

Gracias al customer Journey Map se encontraron los siguientes problemas o inconvenientes actuales:

1. Los empaques pueden ser demorados al armar
2. Además del empaque principal se utiliza una bolsa plástica para este
3. Los empaques elaborados de plástico y poliestireno expandido son muy contaminantes para el medio ambiente
4. Los empaques son difíciles de entender por el cliente

10. DEFINIR

10.1 Elaboración material de manera artesanal

Según el análisis del mercado se estableció un procedimiento para la producción del material que conforma el empaque. Por medio de este procedimiento se busca reforzar el papel creado en Lebrija Santander por la organización Jornaleando la fibra de piña, con el fin de encontrar la mejor alternativa para la creación de empaque. El proceso consiste en producir compuestos de tal manera que se mejoren las características mecánicas y físicas del material.

Se plantea entonces la construcción de 3 combinaciones: Elaboración de lámina de papel agregando un aditivo, elaboración de masa de fibra con adhesivos, elaboración de láminas de papel de fibra y adhesivo. De esta manera se busca determinar cuál es la mejor vía de acción para la producción de un material consistente.

10.2 Preparación de la fibra de piña

Se utilizó fibra sacada de la hoja de la última cosecha del cultivo de piña. El primer paso consistió en recolectar las hojas de piña de la cosecha. Se limpiaron y se cortaron para lograr un tamaño de 2,5 cm aproximadamente y se colocan a cocinar en agua por dos horas. Después de eso se deja reposar las hojas durante 24 horas. En la siguiente etapa se procedió a licuar las hojas con un poco de agua, misma agua de la cocción, se retiró la fibra del agua y se enjuago con agua limpia. De esta manera se obtiene la fibra.



Figura 16 Hoja de la cosecha de la piña. Foto de registro.



Figura 17 Hoja de piña cortada en cocción. Foto de registro.



Figura 18 Fibra de la hoja piña. Foto de registro.

10.3 PROBETAS

10.3.1 Adhesivos

Para la selección de los adhesivos utilizados en el diseño del empaque, se llevaron a cabo investigaciones exhaustivas y análisis comparativos. Primero, se realizó una revisión detallada de la literatura y estudios previos sobre adhesivos adecuados para materiales similares, lo que proporcionó una comprensión sólida de las opciones disponibles.

Además, en el análisis de benchmarking se evaluó el desempeño de diferentes adhesivos en aplicaciones comparables, evaluando factores clave como la adherencia, durabilidad, resistencia a condiciones ambientales y compatibilidad con los materiales del empaque.

Los datos obtenidos de estas investigaciones y el benchmarking permitieron seleccionar los adhesivos que mejor se alinean con los requisitos del proyecto.

10.3.1.1 Colbón biodegradable

Este adhesivo se elaboró con materiales caseros, se comenzó diluyendo 100 gr de harina en medio litro de agua, esta mezcla se calentó a fuego medio durante unos minutos, se agregaron 150 gr de azúcar y se iba batiendo para evitar que se pegara, por último, se agregaron 2 cucharadas de vinagre, 1 cucharada de

bicarbonato y se dejó a fuego bajo hasta que espesara todo. El resultado se puede observar en la figura 19.



Figura 19 Colbón casero. Foto de registro.

10.3.1.2 CMC

Para la preparación de este adhesivo se hicieron 2 opciones. La primera fue diluir en medio litro de agua 2 cucharadas de CMC y agregarle la fibra. La segunda fue mezclar 1 cucharada de CMC en 150 ml de agua. En la figura 20 se puede observar la elaboración de la primera propuesta.



Figura 20 CMC más fibra de piña. Foto de registro.

10.3.1.3 Gelatina sin sabor

Para este adhesivo se diluyó en $\frac{1}{4}$ de taza de agua 1 sobre de gelatina sin sabor mezclándolo y dejándolo a clima ambiente. En la figura 21 se puede observar los dos componentes antes de disolverse.



Figura 21 Gelatina sin sabor. Foto de registro.

10.3.1.4 Dulce de piña

Para este adhesivo se mezcló piña, cáscara de piña, panela y azúcar. Se dejó cocinar por media hora y luego se llevó a la licuadora hasta que se formara una pulpa. En la figura 22 se puede observar el adhesivo obtenido.



Figura 22 Dulce de piña. Foto de registro.

10.3.1.5 Almidón de yuca

Para este adhesivo se realizó una mezcla de 50 gr de almidón de yuca con 50 mililitros de agua. En la figura 23 se puede observar el adhesivo obtenido.



Figura 23 Almidón de yuca. Foto de registro.

10.3.2 Probetas

A continuación, se presentan las pruebas realizadas para determinar la mejor construcción del empaque en función de la adhesión, utilizando los tres primeros materiales adhesivos mencionados previamente. El procedimiento consistió en formar placas de fibra de piña mezclada con los adhesivos seleccionados. Estas probetas fueron secadas a temperatura ambiente y se realizaron un total de seis pruebas, según se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Probetas prueba 1 a 6. Autor: Elaboración propia.

Probeta	Fibra		Adhesivo			
	Fibra de piña	Papel de piña	CMC	Colbón biodegradable	Gelatina sin sabor	CMC + Fibra
1	x		x			
2	x			x		
3	x				x	
4	x					x
5		x		x		
6		x				x



Figura 24 Fibra de piña más CMC. Foto de registro.



Figura 25 CMC más fibra de piña. Foto de registro.



Figura 26 Fibra de piña más gelatina sin sabor. Foto de registro.



Figura 27 Fibra de piña más colbón biodegradable. Foto de registro.



Figura 28 Papel de piña más colbón biodegradable. Foto de registro.



Figura 29 Probetas 1 a 6. Foto de registro.

Antes de analizar las probetas elaboradas, se realizaron nuevas pruebas utilizando probetas en forma de caja, con el objetivo de evaluar cuál adhesivo permitía mejor el modelado tridimensional. Se emplearon los adhesivos de la

prueba anterior y se añadieron dos nuevos: almidón de yuca y dulce de piña. Estas nuevas probetas también se dejaron secar a temperatura ambiente, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Probetas de Adhesión en Forma de Caja (Pruebas 7 a 15). Autor:
Elaboración propia.

Probeta	Cantidad de fibra			Adhesivo				
	60 gr	90 gr	130 gr	CMC	Colbón biodegradable	Gelatina sin sabor	Dulce de piña	Almidón de yuca
1	X			X				
2		X		X				
3			X	X				
4	X				X			
5		X			X			
6			X		X			
7	X					X		
8		X				X		
9			X			X		
10	X						X	
11		X					X	
12			X				X	
13	X							X
14		X						X
15			X					X



Figura 30. Probeta 1, 2 y 3. Foto de registro.



Figura 31. Probetas 3, 4 y 5. Foto de registro.



Figura 32. Probetas 6, 7 y 8. Foto de registro.



Figura 33. Probetas 9, 10 y 11. Foto de registro.



Figura 34. Probetas 13, 14 y 15. Foto de registro.

Finalmente, se realizó una prueba de secado en horno para reducir la presencia de hongos. Se colocaron muestras de 30 gramos de fibra en el horno a 200 °C durante 10 minutos. El resultado mostró que la fibra se oscureció comparada con otras muestras y que los hongos se redujeron en todas las muestras, excepto en aquellas con gelatina sin sabor.

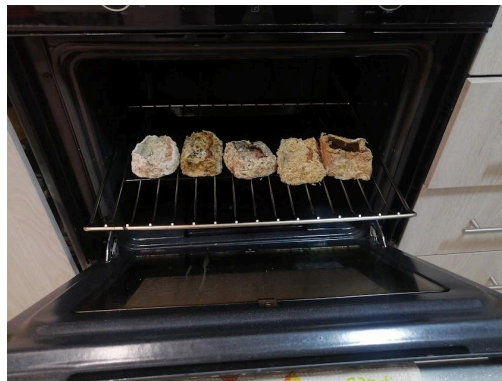


Figura 35 Muestras de 30 gr en el horno. Foto de registro.



Figura 36 Resultado prueba del horno. Foto de registro.

10.3.2.1 Resultados

Se realizó un análisis exhaustivo de las probetas en función de su adhesión entre capas y resistencia. El objetivo principal fue identificar cuál de las probetas ofrecía la mejor adherencia en comparación con las demás. La evaluación incluyó cuatro criterios clave: adherencia, olor, resistencia y rigidez. Cada criterio fue calificado en una escala del 1 al 5, donde:

- **Adherencia:** 1 indica poca adherencia y 5 indica alta adherencia.
- **Olor:** 1 representa un olor intenso y 5 un olor mínimo.
- **Resistencia:** 1 corresponde a baja resistencia y 5 a alta resistencia.
- **Rigidez:** 1 denota mucha rigidez y 5 poca rigidez.

La Tabla 5 presenta los resultados detallados de esta evaluación para cada una de las probetas analizadas.

Tabla 5 Evaluación de probetas. Autor: Elaboración propia.

EVALUACIÓN DE PROBETAS															
ALTERNATIVAS															
CRITERIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adherencia	3	4	5	4	5	5	3	3	3	2	2	2	5	5	5
Olor	5	4	5	5	4	4	5	3	4	3	3	3	4	3	3
Resistencia	3	3	3	3	3	4	3	4	5	2	1	2	5	4	3
Rigidez	3	3	3	4	5	5	1	2	3	3	3	3	1	2	3
TOTAL	14	14	16	16	17	18	12	12	15	10	9	10	15	14	14

10.3.2.2 Análisis de resultados

Según los datos obtenidos, la fibra de piña combinada con colbón biodegradable demostró el mejor rendimiento en comparación con los otros materiales evaluados. Las tres probetas elaboradas con esta mezcla mostraron los resultados más favorables, destacando la probeta 6 por su desempeño particularmente satisfactorio.

Además, se observó que la fibra de piña presenta un mejor comportamiento cuando se utiliza en mayores cantidades. Para reducir el olor y minimizar la presencia de hongos en el material, se determinó que el secado en horno es una medida efectiva.

En conclusión, el material óptimo para la construcción del empaque es una mezcla que contiene 130 gramos de fibra de piña y 30 gramos de colbón biodegradable. Esta mezcla representa una proporción del 85% de fibra y 15% de adhesivo, y ha demostrado ser la más adecuada para el diseño del empaque

10.4 REQUERIMIENTOS

Con base en los resultados obtenidos de las pruebas de adhesión y resistencia, se han establecido los requerimientos que debe cumplir el empaque propuesto para asegurar su efectividad y funcionalidad. La fibra de piña combinada con colbón biodegradable, que demostró ser el material con el mejor comportamiento, ha servido de referencia para definir estos requerimientos.

Estos aspectos están detallados en la Tabla 6, donde se presentan los requerimientos específicos de diseño para el empaque basado en las propiedades óptimas identificadas en las pruebas realizadas. La tabla proporciona una guía clara para la construcción del empaque, alineando los resultados experimentales con los criterios de diseño necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto.

Tabla 6. Requerimientos de diseño. Autor: Elaboración propia.

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO			
	CRITERIO	ESPECIFICACIÓN	PARÁMETRO
O B L I G A T O R I O S	Contener	Debe tener la capacidad para contener la comida a empacar	Empaque con las dimensiones adecuadas para almacenar el producto.
	Transportar	Debe ser portable y fácil de transportar	Los empaques deben ser apilables
	Proteger	Proteger el producto de agentes externos antes de su consumo	Debe tener la capacidad para contener la comida a empacar

DE USO	Practicidad	Debe ser fácil de usar	Mecanismos de apertura y cierre sencillos e intuitivos
	Antropometría	El empaque debe tener una medida de fácil agarre	Dimensiones adecuadas para facilitar el agarre del usuario
FUNCION	Seguridad	El empaque debe resistir la manipulación del usuario	Utilizar material resistente y duradero
TECNICO PRODUCTIVO	Materias primas	Debe elaborarse con materiales no tóxicos	Usar materiales orgánicos y procesos que no requieran de químicos tóxicos
ESTRUCTURALES	N° de componentes	Debe ser monolítico	Plantilla o estructura elaborada en una sola pieza del mismo material
	Mecanismos	El mecanismo de cierre del empaque debe ensamblar entre sí	Uso de ensambles y pestañas
	Resistencia	El empaque debe resistir el calor de los alimentos El empaque debe tener las características físicas necesarias para soportar un apilamiento	La composición del material debe ser resistente Utilizar un material resistente y duradero
FORMAL-ESTETICO	Estilo	El empaque debe comunicar en su apariencia la materialidad y condición de biodegradable	El exterior del empaque debe mostrar su materialidad
		La apariencia formal-estética del producto debe ser agradable para los usuarios	Utilizar formas orgánicas y familiares para el usuario
		El diseño formal del envase debe ser estable y evitar volcaduras	Base con forma geométrica estable
LEGALES	Normas	Cumplir la NTC 5422 y la resolución 2674 de 2013	El material debe ser no óxico y seguir lo estipulado en cuanto a salud e higiene
		Directiva 94/62/CE	El empaque tendrá una adecuada disposición final evitando la producción de desechos

10.5 Concepto de diseño

Para el desarrollo del proyecto se estableció el concepto de diseño de replantar, es decir, el producto será devuelto a la tierra después de su uso. El empaque está elaborado a partir de materiales 100% naturales, biodegradables y compostables que permiten que vuelva a la tierra a su totalidad sin ser contaminantes o tóxicos con el medio ambiente, de esta manera se asegura que el ciclo de vida del producto se cierre volviendo a la tierra donde inició su proceso.

11. IDEAR

El objetivo de este paso es obtener mediante métodos como el Brainstorming un gran número de ideas que optimizaran el material, para posteriormente hacer una mejora de ellas y proceder a su evaluación.

11.1 Diseño del empaque

Una vez obtenido el material consistente y tras haber establecido los requerimientos del empaque, para la realización de las alternativas fue necesario tener desarrollado primero el material debido a que era el mayor determinante de la morfología que tendría el empaque, dependiendo las características de este se seleccionaría la cantidad de piezas, forma del ensamble y demás detalles que contiene el empaque.

Los empaques actuales de alimentos de comida rápida poseen dos características principales, aislar el alimento y ofrecer estructura.

11.2 Generación de conceptos

11.2.1 Concepto A

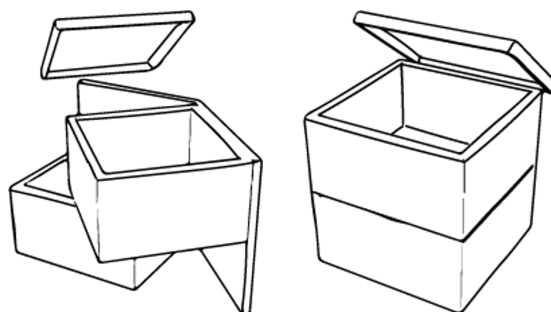


Figura 37 Concepto A. Elaboración propia.

Este empaque está formado por una base/tapa. La base está dividida en dos niveles para separar los diferentes productos.

11.2.2 Concepto B

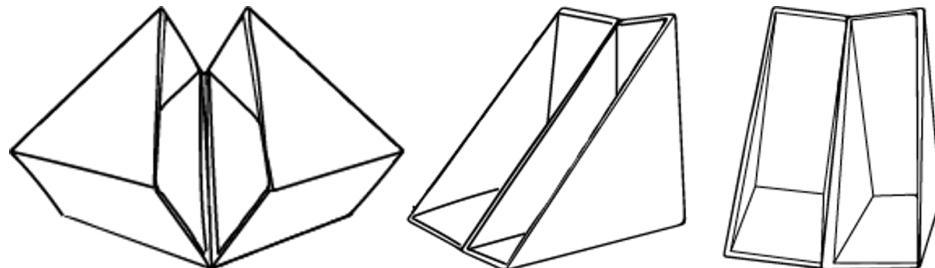


Figura 38 Concepto B. Elaboración propia.

Este concepto está conformado por un cubo que puede ser dividido en dos formando pirámides que facilitan el acceso a la comida.

11.2.3 Concepto C

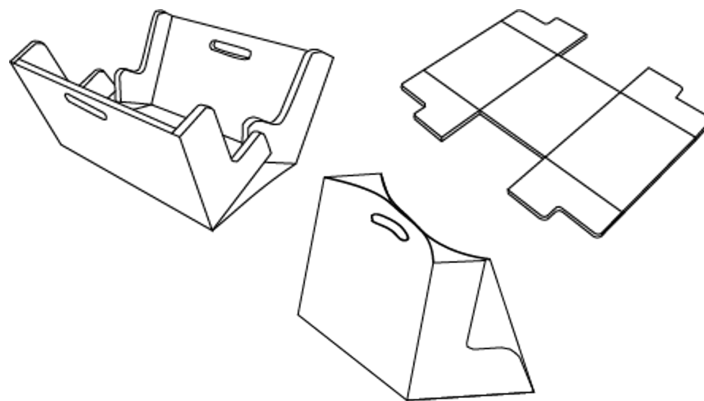


Figura 39 Concepto C. Elaboración propia.

Este concepto está conformado por un despiece completo. La parte central del empaque tiene pestañas que se insertan entre sí para asegurar el cierre del empaque.

11.2.4 Concepto D

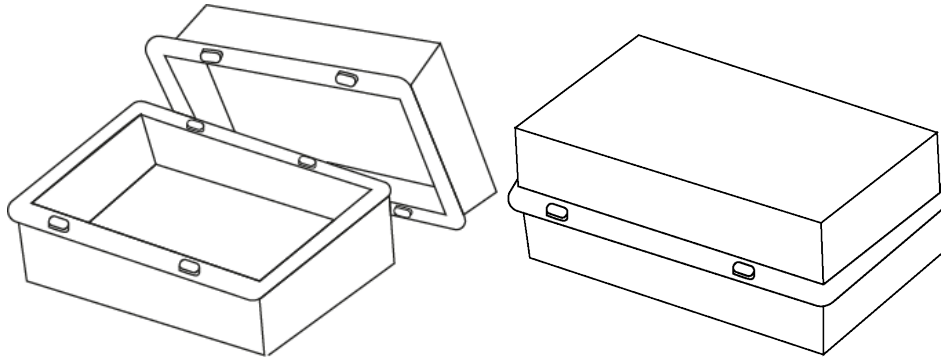


Figura 40. Concepto D. Elaboración propia

Este concepto está conformado por una base y tapa del mismo diseño, variado por los bordes laterales que contienen resaltes para encajar uno con otro.

11.3 SCAMPER

El método SCAMPER es una técnica creativa utilizada para fomentar la generación de ideas mediante la formulación y respuesta a una serie de preguntas predefinidas. Estas preguntas se centran en siete aspectos clave: Sustituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Poner otros usos, Eliminar, y Reordenar (10 Técnicas De Generación De Ideas Recomendadas, 2020).

Para mejorar cada concepto de diseño, se aplicó la técnica SCAMPER, detallada en el Apéndice F. A continuación, se describen las intervenciones realizadas en cada concepto:

- **Concepto A:** Se rediseñó la forma de los dos niveles del empaque, redondeando una de las esquinas para mejorar su ergonomía. Además, se modificó el diseño de la tapa, integrándola con el resto del empaque para formar una pieza unificada, lo que facilita su manejo y reduce posibles fallos en el cierre.

- **Concepto B:** Se revisó y optimizó el sistema de cierre del empaque. Se implementó un mecanismo de pestaña que encaja en la otra mitad del empaque para asegurar un cierre más efectivo. También se rediseñó la forma del empaque, redondeando uno de los extremos para mejorar su estética y funcionalidad.
- **Concepto C:** Se realizaron ajustes en las pestañas laterales del empaque, añadiendo una nueva pestaña para reforzar la estructura y mejorar la resistencia. El sistema de cierre fue modificado para incluir una pestaña y un mecanismo de encaje, ofreciendo una solución más segura y duradera.
- **Concepto D:** Se ajustó el diseño de los laterales del empaque, reubicando el sistema de cierre a un lado para optimizar su funcionamiento. Además, se modificó la altura del empaque para asegurar que el nuevo sistema de cierre encaje adecuadamente y funcione sin inconvenientes.

Estas mejoras fueron realizadas para evolucionar y perfeccionar cada concepto de diseño, garantizando que el empaque resultante cumpla con los requisitos funcionales y estéticos deseados.

11.4 Análisis de alternativas

Para el análisis de las alternativas de diseño, se utilizó una matriz de selección múltiple. En esta matriz se evaluaron tres conceptos propuestos, comparando su desempeño en relación con los requisitos de los envases biodegradables identificados durante el benchmarking. La evaluación se realizó utilizando los siguientes signos: **+** para indicar "mejor que", **0** para "igual a" y **-** para "peor que" (ver Tabla 7).

Tabla 7. Matriz de selección. Autor: Elaboración propia.

MATRIZ DE SELECCIÓN DE CONCEPTOS				
CRITERIO	CONCEPTO			
	A	B	C	D
El empaque debe tener la capacidad para contener la comida	0	0	0	0
Los empaques deben ser apilables	-	+	+	+
El empaque protege el producto de agentes externos	0	0	0	0
Debe ser fácil de utilizar	0	-	+	+
Resiste la manipulación del usuario	0	0	0	0
Es fácil de ensamblar	-	0	+	+
Comunica la condición de biodegradable	0	0	0	0
El empaque tiene un cerrado fácil	+	-	+	+
La apariencia formal-estética del producto es agradable para los usuarios	0	-	+	0
El diseño formal del envase debe ser estable y evitar volcaduras	0	-	+	+
Suma +	1	1	6	5
Suma 0	7	5	4	5
Suma -	2	4	0	0
Evaluación neta	-1	-3	6	5
Posición	3	4	1	2
¿Continuar?	No	No	Sí	No

Los resultados de aplicar esta herramienta fueron los siguientes: en primera posición quedo el concepto C con un valor de 6, en segundo lugar, quedo el concepto D con un valor de 5, en tercer lugar, quedo el concepto A con un valor de -1, y finalmente quedó el concepto B con un valor de -3. En conclusión, podemos

observar y tener en cuenta que el concepto C es el artefacto que cumple en mayor medida con cada uno de los parámetros establecidos y por tanto se prioriza su construcción.

11.5 Modelo final

El empaque propuesto una pieza que se ensambla entre sí, ver figura 41. Se refuerzan los laterales para dar más soporte al empaque y el producto quede más seguro. De esta manera el empaque quedaría con dos laterales sencillos y dos laterales dobles.

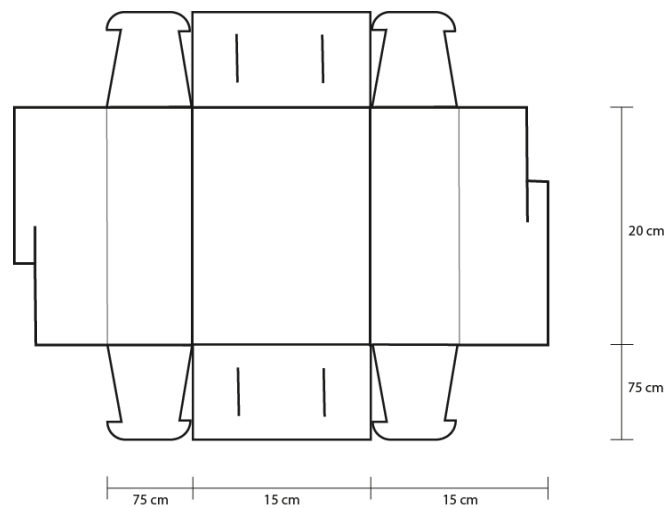


Figura 41 Medidas del empaque propuesto. Elaboración propia.

Para el proceso de ensamblaje del empaque se parte de la base, se unen las pestañas laterales, se doblan los laterales sobre las pestañas anteriores, se termina de doblar el lateral hasta que quede por dentro del contenedor, se unen los laterales más largos y se ensamblan las pestañas (ver Figura 43). Este modelo fue el diseño que se utilizó para comenzar a elaborar los prototipos (ver Figura 42).

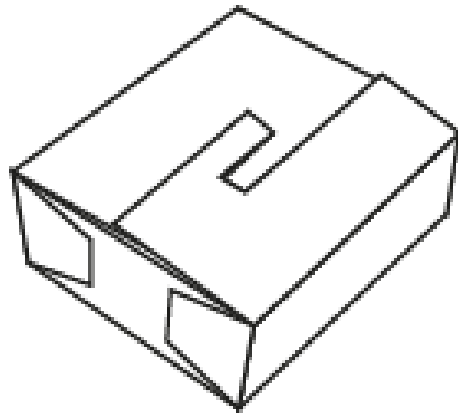


Figura 42. Modelo final. Elaboración propia

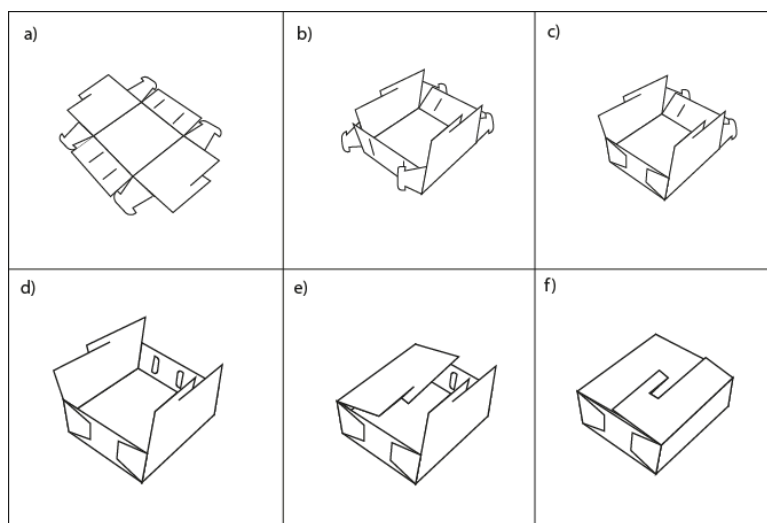


Figura 43 Proceso de ensamblaje empaque. Elaboración propia.

11.6 Ciclo de vida

A continuación, se presenta el ciclo de vida del producto, que abarca desde la cosecha de la piña hasta el proceso de biodegradación del empaque final (ver Figura 44). Este ciclo de vida se divide en las siguientes etapas:



Figura 44 Ciclo de vida del producto. Elaboración propia.

1. **Cosecha:** La primera etapa del ciclo de vida comienza con la cosecha de la piña. En este proceso, el fruto es recolectado y separado de la planta, dejando atrás las hojas y otros residuos vegetales en el campo. Estas hojas, que generalmente se desechan, se utilizan en el proceso de fabricación del material para el empaque.
2. **Producción de Piña:** La producción de piña incluye el cultivo y crecimiento del fruto. Durante esta fase, se lleva a cabo la gestión agrícola para maximizar la calidad y cantidad de la piña, así como la eficiencia en el uso de recursos como agua y nutrientes.
3. **Material:** Las hojas de piña, que son un subproducto de la cosecha, se recolectan y se procesan para convertirse en material. Este material se mezcla con adhesivos y otros ingredientes para formar una fibra que se puede utilizar en la producción de empaques. La fibra de piña es conocida por sus propiedades sostenibles y su capacidad para ser reciclada o compostada.
4. **Empaque:** El material obtenido se utiliza para fabricar el empaque. Este empaque está diseñado para ser biodegradable y cumple con los requisitos

de sostenibilidad, reduciendo el impacto ambiental en comparación con empaques convencionales. El diseño del empaque tiene en cuenta tanto la funcionalidad como la capacidad de descomposición natural.

5. **Consumidor:** Una vez que el empaque está en uso, el consumidor lo emplea para su propósito previsto, ya sea para alimentos, productos u otros usos. Durante esta etapa, el empaque cumple con su función de protección y conservación del producto.
6. **Biodegradación:** Después de su uso, el empaque entra en la fase de biodegradación. Debido a que está hecho de materiales naturales como la fibra de piña, el empaque es diseñado para descomponerse de manera eficiente. En condiciones adecuadas, como en un entorno de compostaje o en un vertedero industrial, el empaque se desintegra en componentes orgánicos. Este proceso reduce el impacto ambiental al devolver los nutrientes al suelo y minimizar la acumulación de residuos sólidos.

Cada etapa del ciclo de vida del empaque está pensada para maximizar la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental, desde la producción inicial hasta la biodegradación final. La integración de un proceso de biodegradación eficiente asegura que el empaque no contribuye a la contaminación a largo plazo y se alinea con las prácticas de gestión de residuos responsables.

12. PROTOTIPAR

Al contar con el concepto definido se dio paso a la cuarta fase de diseño, prototipar, en la cual se fabricó un modelo formal y funcional que permitiera la interacción con los usuarios y diseñadores, para representar algunas características del objeto y evaluarlo en la siguiente etapa bajo las apreciaciones subjetivas del usuario y equipo de trabajo, también se evaluará su funcionalidad con el objetivo de encontrar posibles inconvenientes y resolver inquietudes relacionadas con la idea propuesta.

12.1 Prototipo funcional

Para la construcción del modelo funcional del empaque se utilizó el mismo proceso de obtención de la fibra mencionado anteriormente. En esta ocasión se utilizó mayor cantidad de hojas de piña para poder cubrir la superficie del empaque (VER figura 45).



Figura 45. Obtención de la fibra. Foto de registro

Una vez obtenida la fibra de piña se procedió a preparar la superficie para elaborar la lámina del material propuesto, para esto se utilizó una superficie plana que se cubrió con plástico y encima de este se puso tela para absorber la humedad del material. Se dibujó la plantilla del empaque para ver el tamaño necesario a cubrir con el material (VER figura 46).

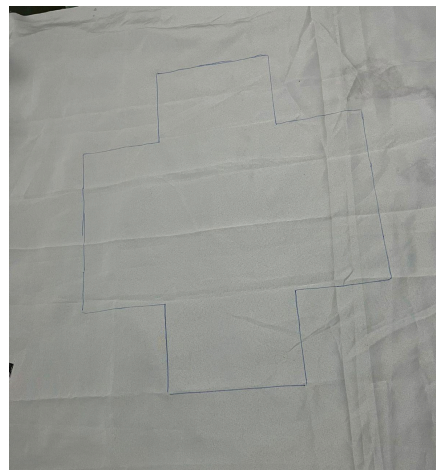


Figura 46. Preparación de superficie. Foto de registro





Para la mezcla de los componentes del material se procedió a preparar el adhesivo, colbón biodegradable, necesario para mezclar con la fibra de piña. Se utilizó una razón porcentual de 85% fibra y 15% adhesivo según los resultados mostrados en las pruebas anteriores. En la tabla 8 se muestra el proceso de elaboración del material a utilizar.

Tabla 8. Proceso de elaboración de material. Elaboración propia

Preparación del adhesivo	Fibra de piña
	
Adición del adhesivo	Material listo para usar
	

Cuando los componentes del material estén mezclados se procede a poner el material sobre toda la superficie hasta cubrir el área necesaria para la elaboración de la lámina. Una vez terminada se coloca tela sobre la lámina haciendo presión para extraer la mayor cantidad de agua posible del material. La lámina se dejó secar a temperatura ambiente. En la tabla 9 se muestra el proceso de elaboración de la lámina.

Tabla 9. Proceso de elaboración lámina. Elaboración propia

<p>Poner el material sobre la tela</p>	<p>Rellenar toda la superficie</p>
	
<p>Retirar exceso de agua</p>	<p>Dejar secar a temperatura ambiente</p>
	

Para la construcción del empaque, una vez la lámina estuvo completamente seca, se cortó la lámina en las medidas necesarias y se simuló el troquelado con dobleces manuales. Debido a que la alternativa seleccionada requiere de varios dobleces en la lámina y el material obtenido es de un grosor grueso, el material comenzó a quebrarse. En reunión con la directora del proyecto se optó por optimizar el proceso para obtener un mejor resultado.





Para dar inicio con la elaboración del proceso de optimización, se decidió, después de cocinar, licuar y colar la fibra de piña, secar esta misma en horno para evitar que se formara el crecimiento de hongos y moho. Posterior a eso se licuo la fibra por segunda vez para obtener una fibra más delgada como se muestra en la figura 47.



Figura 47. Fibra seca licuada

Para la elaboración de la lámina se partió de la misma combinación utilizada anteriormente con una pequeña modificación, esta fue añadir 10% del peso total de glicerina, los resultados obtenidos con esta muestra fueron bastante buenos, presentaron mejor plasticidad comparado con la muestra anterior, además presentaba una textura lisa y era un material más maleable. El proceso se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Elaboración proceso optimizado

Masa de fibra	Fibra en el molde
	
Aplicación de calor	Lámina obtenida
	

Una vez obtenida la lámina del material se procedió a elaborar el empaque propuesto. El material obtenido tiene propiedades termo formables. Se dibujo la plantilla del empaque y se cortó el material excedente. Se aplico calor con ayuda de una pistola de calor mientras que, al mismo tiempo, con ayuda de un atomizador, se rociaba agua al material para aumentar la plasticidad. Una vez obtenidos los dobleces laterales se cortaron los encajes de cierre del empaque (ver tabla 11).

Tabla 11. Elaboración del empaque. Elaboración propia

Plantilla Empaque	Aplicación de calor para termo-formar
	
Laterales termoformados	Encajes laterales
	

Se encajaron todos los laterales asegurando el empaque (ver Figura 46). Este modelo (VER figura 47) fue utilizado para las pruebas de verificación más adelante descritas.

**Figura 48.** Prototipo final. Foto de registro.

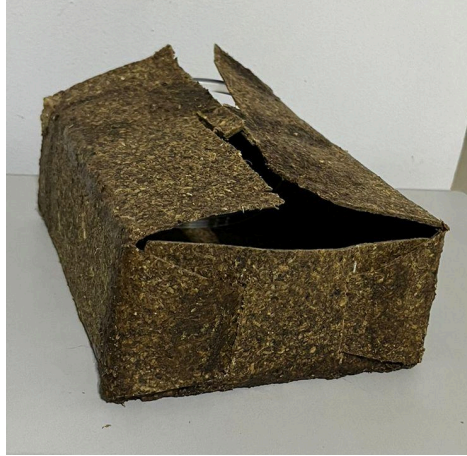


Figura 49. Modelo final. Registro fotográfico.

13. EVALUAR

Por último, se ejecutó la quinta fase denominada evaluar, en la cual, con base en el prototipo funcional construido se pasa a una fase de evaluación en donde se planteó un plan de verificación y validación para evaluar el producto obtenido y conocer si realmente se da una respuesta asertiva a la pregunta de diseño y si existe la aceptación del producto diseñado por parte de los usuarios involucrados. Se realiza la Prueba de verificación y validación realizando el informe respectivo. Para realizar las pruebas se hace necesario recordar el objetivo general del proyecto y la pregunta de diseño.

Objetivo general del proyecto

Desarrollar un empaque con un enfoque ecosostenible utilizando como materia prima el papel biodegradable elaborado con residuos de la piña complementando el proyecto “Jornaleando la fibra de piña” elaborado en el municipio de Lebrija.

Pregunta de diseño

Con el desarrollo de este proyecto, se quiere dar respuesta a las preguntas, ¿Se puede usar fibras naturales derivadas del cultivo de piña como materia prima para la creación de un empaque biodegradable? ¿Por medio de qué proceso se puede transformar el papel biodegradable elaborado con residuos de piña para crear empaques biodegradables?

Producto por evaluar

Empaque elaborado con fibra de la hoja de cosecha de piña

13.1 Verificación

Se realiza el estudio a detalle del empaque. En primera instancia, se realiza la planificación de la verificación en donde se plantean las variables a medir, cómo se realizará el proceso y finalmente se hace la implementación. El objetivo principal de esta prueba es evaluar el comportamiento del empaque propuesto al someterlo a esfuerzos reales a los que será sometido.

13.1.1 Plan de verificación

En el plan de verificación (VER Apéndice G) se especificó todo lo relacionado a la prueba teniendo en cuenta el producto, se planteó la justificación, el objetivo, los parámetros y las actividades.

Así mismo se plantearon las pruebas a realizar con sus respectivas variables especificando el componente que se iba a verificar. Las pruebas fueron las siguientes:

Tabla 12. Pruebas de verificación. Elaboración propia

PRUEBA	REQUERIMIENTO /VARIABLE	COMPONENTE /PARTE
-Resistencia a la deformación por humedad	-Resistencia del material	-Empaque
-Resistencia a la deformación por peso	-Resistencia del material	-Empaque
-Prueba física de transporte	-Transporte	-Empaque
-Prueba de olores y sabores	-Contener la comida	-Empaque

13.1.2 Pruebas de verificación

13.1.2.1 Objetivo general

Analizar el material elegido (fibra de piña con colbón biodegradable), evaluar sus propiedades para resistir los esfuerzos reales a los que será sometido.

13.1.2.2 Objetivos específicos:

- Observar el comportamiento de la lámina desarrollada.
- Identificar las fallas en el diseño del empaque propuesto.

13.1.2.3 Preparación de las pruebas

Para esta prueba se utilizó el modelo funcional y se planteó una de las comidas rápidas más pedidas a domicilio, la hamburguesa.



Figura 50. Preparación de empaque para pruebas de verificación. Foto de registro

13.1.2.4 Prueba 1_ Resistencia a la deformidad por humedad

Algunos de los alimentos de comidas rápidas que serán servidos en el empaque pueden generar jugos que humedezcan el empaque y afecten la resistencia del empaque, siendo una necesidad lograr que el empaque resista por un periodo de tiempo estas condiciones.

La prueba consistió en derramar sobre el material 5 mililitros de agua para ver la reacción. Cabe resaltar que los posibles líquidos que pueden interactuar con el material en un ambiente real son de mayor densidad y es más difícil que se filtren en las fibras, pero se decidió realizar la prueba con agua para evaluar esta propiedad en un nivel extremo. Se dejó reposar el material por un tiempo de 30 minutos.

Resultados

Durante la prueba se observó un comportamiento óptimo del empaque. No se produce filtrado de líquidos por los dobleces del empaque ni por las uniones, no se produjo deformación o debilitamiento de la estructura de este. Se observó que la superficie que está en contacto con el líquido absorbe el líquido obteniendo como resultado una buena respuesta a la humedad.



Figura 51. Prueba de función 1_ Resistencia a la humedad. Foto de registro.

13.1.2.5 Prueba 2_ Resistencia a la deformación por peso

Se definió que el peso promedio de una hamburguesa con su Porción de papas es de 420 gr, tomando como peso límite 450 gr que será el peso máximo que debe soportar el empaque.

La prueba consistió en servir en el empaque una hamburguesa compuesta por pan, salsas, carne, pollo desmechado en salsa, tocino, cebolla caramelizada y mix de quesos, servida con su porción de papas. En este caso el peso total de la comida es de 450 gr. Se procedió a una manipulación exagerada del empaque por un periodo de 15 minutos.

Resultados

Durante la prueba se observó un comportamiento satisfactorio del empaque. A pesar de la manipulación exagerada no se presentó daño en el empaque. Se pudo observar que si se utiliza muchas veces el mismo empaque se pueden deteriorar las uniones de las tapas.



Figura 52. Prueba de función 2_ Resistencia a la deformación por peso. Foto de registro.

13.1.2.6 Prueba 3_Prueba física de transporte

La prueba consistió en servir en el empaque una hamburguesa compuesta por pan, salsas, carne, pollo desmechado en salsa, tocino, cebolla caramelizada y mix de quesos, servida con su porción de papas. Se procedió a realizar un viaje en

motocicleta de 19,2 km desde el parque principal de Floridablanca hasta la UIS y de regreso simulando el envío de un domicilio.

Resultados

Durante la prueba se observó un comportamiento óptimo del empaque. No se produce deformación en la estructura del empaque. No se producen fisuras por los dobleces ni por las uniones mostrando así un resultado positivo para esta prueba.



Figura 53. Prueba 3_Prueba física de transporte. Foto de registro.

13.1.2.7 Prueba 4_Olores y sabores

Al utilizar como materia prima la hoja del cultivo de piña y un adhesivo elaborado con harina y azúcar, es necesario comprobar que el material del empaque no transfiera olores o sabores no característicos del alimento.

La prueba consistió en servir en el empaque una hamburguesa con sus respectivas papas. Se dejó la comida en el interior del empaque por el periodo de una hora.

Resultados

Durante la prueba se observó que la comida presenta un leve olor, pero este se disipa una vez el contenedor está abierto. No presenta sabores que puedan asociarse con el empaque.



Figura 54. Prueba 4_Olores y sabores. Foto de registro

13.1.3 Resultados generales

En general se observó un comportamiento satisfactorio del empaque. Respecto al material desarrollado se observa una respuesta positiva ante la humedad. Así mismo los dobleces realizados solo presentaron fisuras mínimas en las uniones de las tapas.

Respecto al diseño propuesto, se mantiene una estructura confiable del empaque que resiste y cumple a cabal con las necesidades identificadas, sin embargo, en cuanto a manipulación exagerada se pueden presentar fallas en el sistema de cierre. Cabe resaltar que, en una situación real, los empaques no tienen una manipulación exagerada, pero por cuestiones de transporte o del mismo consumo por parte de los usuarios, es necesario descartar un posible fallo en el diseño.

Por último, es apto el uso de la fibra de la hoja de piña para la creación del empaque propuesto sin que este presente alteraciones a la comida que contiene.

13.2 Validación

Por último, se ejecutó la quinta fase denominada validar, en la cual se evalúa si el proyecto cumple con la pregunta de diseño. En las validaciones podemos ver la evaluación del producto en un contexto real al ser interactuado por los usuarios,

además se evalúan las variables en base al funcionamiento y comodidad a través de encuestas realizadas a los usuarios potenciales.

13.2.1 Plan de validación

Objetivo general: Evaluar la estética del empaque, en función de lograr un producto visualmente atractivo.

Objetivos específicos:

- Escuchar la opinión de los clientes sobre el rediseño y posibles mejoras.
- Analizar la información recolectada e implementar consideraciones de rediseño.

Así mismo se plantearon las pruebas a realizar con sus respectivas variables especificando el componente que se iba a verificar. Las pruebas fueron las siguientes:

Tabla 13. Pruebas de validación. Elaboración propia

ESQUEMA EXPERIMENTAL		
Variable dependiente		Test
Estética		VisAWI
Usabilidad	Comodidad	Encuesta
	Satisfacción	Escala SUS
	Seguridad	Encuesta

Se usan las pruebas mencionadas para evaluar el objeto físico mediante la prueba VisAWI (para evaluar la estética del producto) y la Escala de Likert Satisfacción.

En el plan de validación (VER Apéndice H) además de lo mencionado anteriormente, podemos apreciar el protocolo de validación, los procedimientos de cada una de las pruebas y los valores de aceptación de estas.

13.2.2 Pruebas de validación

Se buscó promover la participación de los usuarios reales, quienes están familiarizados con el proceso de los empaques utilizados actualmente y pueden realizar una comparación de los empaques y brindar una perspectiva propia acerca del empaque propuesto.

La socialización consistió en una exposición del empaque propuesto. Esta exposición consistía en un resumen general del planteamiento del problema, la justificación del proyecto y la presentación del empaque propuesto. Se explica el sistema de armado del empaque, uso y disposición final. Se presentó principal atención a las respuestas inmediatas brindadas por los participantes. Una vez finalizada la exposición se brindó a los participantes una encuesta relacionada con lo expuesto (Ver apéndice I)

Los resultados de la socialización también fueron positivos. Los usuarios son conscientes del impacto ambiental que se está generando por el uso del poliestireno expandido o de los plásticos utilizados actualmente en los empaques, y consideran necesario una implementación de una materia prima más amigable con el medio ambiente. Así mismo, no encontraron dificultad en los procesos planteados para el empaque propuesto, especialmente el armado y servido del alimento.

Test VisAWI (VER Apéndice J)

Su realización fue para validar la estética del producto. La prueba fue tomada por 16 personas que han utilizado el servicio a domicilio de los restaurantes.

Tabla 14. Resultados Test VisAWI. Elaboración propia

Promedios por pregunta

1	2	$7 - 2 = 5$		
2	5,0625			
3	5		Promedio = 5,125	Sim
4	2,1875	$7 - 2,1875 =$ 4,8125		plici
			<hr/>	dad

5	5,75			
6	2	7 - 2 = 5		
7	5,0625			
8	2	7 - 2 = 5	Promedio = 4,925	Dive rsida d
9	4,75			
10	4,8125			
11	4,8125			
12	4,5		Promedio = 4,8282	Elab orac ión
13	5			
14	2	7 - 2 = 5		

Finalmente se analizaron los resultados obteniendo las siguientes conclusiones por cada una de las categorías:

Tabla 15. Conclusiones test VisAWI. Elaboración propia

Simplicidad 5,125	El diseño se percibe estructurado y claro El diseño es ligero y fácil de entender, mantiene una coherencia en cada una de las interfaces y sus elementos combinan
Diversidad 4,925	El diseño es creativo Es interesante e ingenioso
Elaboración 4,8282	El diseño puede mejorar su estética y ser más llamativa para que las personas lo empleen

Escala SUS (VER Apéndice K)

La realización de esta prueba fue para validar la satisfacción del producto frente a los usuarios. Se evaluaron 16 usuarios que han interactuado a lo largo de su vida con empaques de comidas rápidas.

Se realizó un promedio por pregunta para conocer el total y ese total se multiplicó por 2.5, es un valor que ya está establecido por la misma Escala SUS:

Tabla 16. Resultados Escala SUS. Elaboración propia

Promedios por pregunta

1	4,06	$4,06 - 1 = 3,06$
2	1,81	$5 - 1,81 = 3,19$
3	4,13	$4,13 - 1 = 3,13$
4	1,50	$5 - 1,5 = 3,5$
5	4,25	$4,25 - 1 = 3,25$
6	1,50	$5 - 1,5 = 3,5$
7	4,69	$4,69 - 1 = 3,69$
8	1,69	$5 - 1,68 = 3,32$
9	4,38	$4,38 - 1 = 3,38$
10	1,69	$5 - 1,68 = 3,32$

Total = 33,32

$$33,32 * 2,5 = 83,3$$

Finalmente se analizaron los resultados obteniendo la siguiente ponderación:

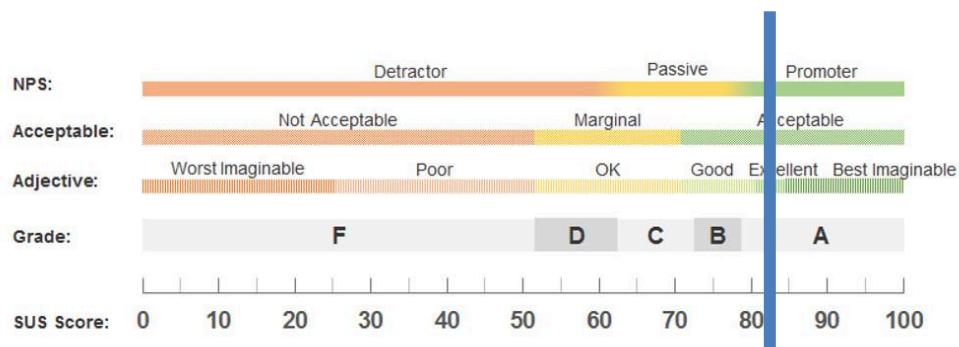


Figura 55. Resultado Escala SUS

El nivel de confort que alcanzaron los usuarios al lograr completar las tareas propuestas fue alto ya que el producto no es complejo, es sencillo en su uso, no necesita de asistencia, es fácil y rápido de aprender, es cómodo y no necesita de conocimientos previos para interactuar con este producto.

Percepción de comodidad y seguridad (VER Apéndice L)

Su realización fue para validar la satisfacción del producto frente a los usuarios. Se evaluaron 16 usuarios que han estado familiarizados con el producto.

Tabla 17. Resultados percepción de comodidad y seguridad. Elaboración propia

Promedios por pregunta		
1	4,3125	Comodidad
<hr/>		
2	4,125	Seguridad

El empaque elaborado con fibra de la hoja de la cosecha de la piña logra resultados satisfactorios ante la percepción de comodidad y seguridad dada por los usuarios durante su uso, sin embargo, se brindan algunas recomendaciones en el diseño del empaque para mejorar el producto y el material.

Sin embargo, para explorar completamente estas posibilidades, es fundamental llevar a cabo estudios adicionales que evalúen la seguridad del material, especialmente cuando se trata de contacto con alimentos. Aunque el material muestra propiedades prometedoras, es esencial realizar pruebas rigurosas en el laboratorio para garantizar que cumple con los estándares de seguridad alimentaria. Estos estudios deben incluir evaluaciones de la migración de compuestos del material hacia los alimentos, la resistencia a la humedad y otras pruebas de compatibilidad para asegurar que el material no comprometa la calidad ni la seguridad de los productos alimenticios.

En conclusión, aunque el material basado en la fibra de piña ofrece un potencial significativo para aplicaciones diversas, la realización de estudios adicionales es crucial. Estos estudios asegurarán que el material no solo es funcional y sostenible, sino también seguro para su uso en contacto con alimentos, abriendo así nuevas oportunidades para su implementación en el mercado.

14. APLICACIÓN DEL MATERIAL EN UN CONCEPTO DIFERENTE

El material elaborado a partir de la fibra de piña presenta características que no solo lo hacen adecuado para la fabricación de empaques, sino que también sugieren su potencial para aplicaciones alternativas. La versatilidad de este material permite considerar su uso en diversos contextos, más allá de su aplicación original. La capacidad del material para ser moldeado y su naturaleza biodegradable hacen que sea una opción interesante para diferentes usos, como en la fabricación de productos no solo de embalaje, sino también en otros ámbitos como el diseño de artículos decorativos o funcionales. Por ejemplo, se ha desarrollado una alternativa innovadora utilizando este material en la fabricación de macetas para plantas. Estas macetas, elaboradas con el material de fibra de piña, pueden ser sembradas directamente en la tierra, eliminando así la necesidad de plásticos que tradicionalmente envuelven estas plantas. Esta solución (ver figura 56,57,58) no solo ofrece un enfoque más sostenible al reducir el uso de plásticos, sino que también mejora la biodegradabilidad del producto final, al integrarse completamente en el ciclo natural de la tierra.



Figura 56. Alternativa de maceta. Foto de registro.



Figura 57. Segunda alternativa de maceta. Foto de registro



Figura 58. Tercera alternativa de maceta. Foto de registro.

15. CONCEPTUALIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL EMPAQUE PROPUESTO

15.1 Materia prima

La materia prima utilizada es la hoja de la cosecha de la piña. De esta se extrae la fibra que al ser tratada se convierte en la materia principal del empaque. En total se necesitan 600 gramos de fibra seca para fabricar un empaque. Respecto a

proveedores de la materia prima, en el municipio de Lebrija se encuentran las fincas de la vereda la esmeralda quienes hacen en promedio 3 cosechas de piña al año.

15.2 Transporte materia prima

El transporte se realiza por medio de un vehículo en rutas programadas por las diferentes fincas de los proveedores y lleva la materia prima directamente a la fábrica de fibra de piña, jornaleando la fibra de piña, ubicada en Lebrija, Santander.

15.3 Manufactura

Corte de hojas: Se cortan manualmente las hojas de la piña, destinadas para la fabricación de la fibra, en cuadros de tamaño aproximado de 5 cm.

Cocción: El segundo paso en el proceso de manufactura es la cocción de las hojas. Esto se realiza con el fin de suavizar las fibras y al mismo tiempo un proceso de desinfección.

Se propone el uso de una caldera de tamaño adecuado para la demanda y el uso de una estufa a gas de un solo quemador de alta potencia. Una estufa de las características necesarias tiene un consumo aproximado de gas de 0,19 m³/h. El tiempo de cocción es de 1 hora a partir del punto de ebullición.

Licuadao: Los trozos de hoja de piña ya cocidos se colocan en una licuadora o mezcladora industrial. Para la mezcladora escogida, se colocan 4 kilos de hojas con 1 litro de agua. Esta agua puede ser reutilizada en el proceso de reintegración. El consumo eléctrico de la mezcladora es de 1 kw/h. El tiempo de mezclado es de 10 minutos.

Secado: La fibra obtenida posterior al licuadao es secada en un horno para prevenir que se formen hongos y plagas. El tiempo de secado es de 20 minutos. El horno utiliza una energía de 0,75 Kw/h.

Segundo licuado: Los trozos de hoja de piña secados se colocan en una licuadora o mezcladora industrial. El consumo eléctrico de la mezcladora es de 1 kw/h. El tiempo de mezclado es de 5 minutos.

Fabricación de fibra: La fibra obtenida de la mezcladora se mezcla con colbón biodegradable previamente elaborado y con glicerina. Una vez finalizado el proceso se presiona la mezcla sobre un molde donde se aplica calor para terminar de secar la lámina.

Troquelado: Las láminas del material proceden a ser troqueladas.

15.4 Distribución

Los empaques fabricados en Lebrija, Santander, se distribuyen por medio de camiones.

15.5 Uso

Ensamblado: Se dobla mediante el proceso de termoformado y ensambla manualmente el empaque.

Servido: Se ingresa la comida preparada y se cierra el empaque.

Despacho a domicilio: Una vez contenida la comida en el empaque se procede a entregar está a su destinatario. Una vez consumido el producto el usuario puede desechar el empaque por medio de compostaje.

15.6 Manejo de fin de ciclo

Este empaque puede ser clasificado como biodegradable y puede utilizarse para procesos de compostaje.

16. SOCIALIZACIÓN DEL EMPAQUE PROPUESTO

Finalizado el proceso de construcción, se hace necesario realizar una socialización donde se pueda reconocer la reacción de las personas involucradas en la organización Jornaleando la Fibra de Piña frente al empaque propuesto.

16.1 Socialización Jornaleando la Fibra de Piña

Se realizó una exposición sobre el ciclo de vida y el proceso del empaque propuesto a los integrantes de la organización Jornaleando la Fibra de Piña. Se realizó una socialización con uno de los líderes del proyecto como se muestra en el apéndice M. En esta socialización se expuso de manera resumida el proyecto y se solicitó su opinión respecto a las mejoras que este podría tener (VER Apéndice N).

Las observaciones generales giraban en torno a la necesidad de reducir la contaminación en cuanto al uso de plásticos en los envases ya existentes y el proceso de desecho de los residuos del cultivo de piña, sabiendo que las personas están tomando más conciencia sobre los factores que causan daño al medio ambiente. Con esto en mente, el empaque propuesto cumple con la expectativa de minimizar los impactos ambientales generados por los empaques actualmente existentes a la vez que se ajusta a las necesidades específicas necesarias para su uso.

17. DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL EMPAQUE

17.1 Análisis LCA

Una vez definido el ciclo de vida del empaque propuesto, es posible determinar los impactos ambientales de los productos y por ende reunir información suficiente para analizar el perfil ambiental a través de un análisis de ciclo de vida o *Life Cycle Assessment* (LCA según siglas en inglés)



Figura 59. Ciclo de vida empaque propuesto. Elaboración propia

Se evaluaron 4 impactos ambientales, calentamiento global, eutrofización acuática, acidificación terrestre y consumo energético, con un enfoque de la “cuna de la puerta” (RECIPE, 2008). Para obtener los datos primarios se hizo una investigación bibliográfica y se recolectaron datos del proceso en el sitio, los datos secundarios fueron tomados de bases de datos existentes referentes a impactos ambientales. El consumo de recursos y emisiones fueron asignados a una unidad funcional de un empaque, en específico el peso de cada empaque. El análisis se enfoca en las tres etapas donde se presenta impacto ambiental: Materia prima, transporte de materia prima y manufactura. Respecto a las etapas de distribución y uso cabe notar al respecto que al ciclo de vida determinado no se produce impactos ambientales referentes al empaque.

17.2 Materiales y metodología

Este análisis cuenta con cuatro fases principales planteadas en la norma ISO 14040 (2006): Definición de objetivos y alcances, análisis de inventario (ICV) para determinar los datos de entrada y salida de los sistemas, evaluación del impacto (EICV) para valorar los resultados del inventario y comparación de ciclos de vida para analizar los resultados.

17.2.1 Caracterización de los empaques

El estudio está enfocado al empaque propuesto. Se categorizó en función del peso por unidad, donde el peso del empaque es de 340 gr.

17.2.2 Alcance de estudio

Se contempló el ciclo de vida, desde la obtención de materiales para la fabricación de la materia prima, hasta el proceso de manufactura de cada empaque haciendo énfasis en las etapas donde se producen impactos ambientales, como se puede ver en la figura 57.

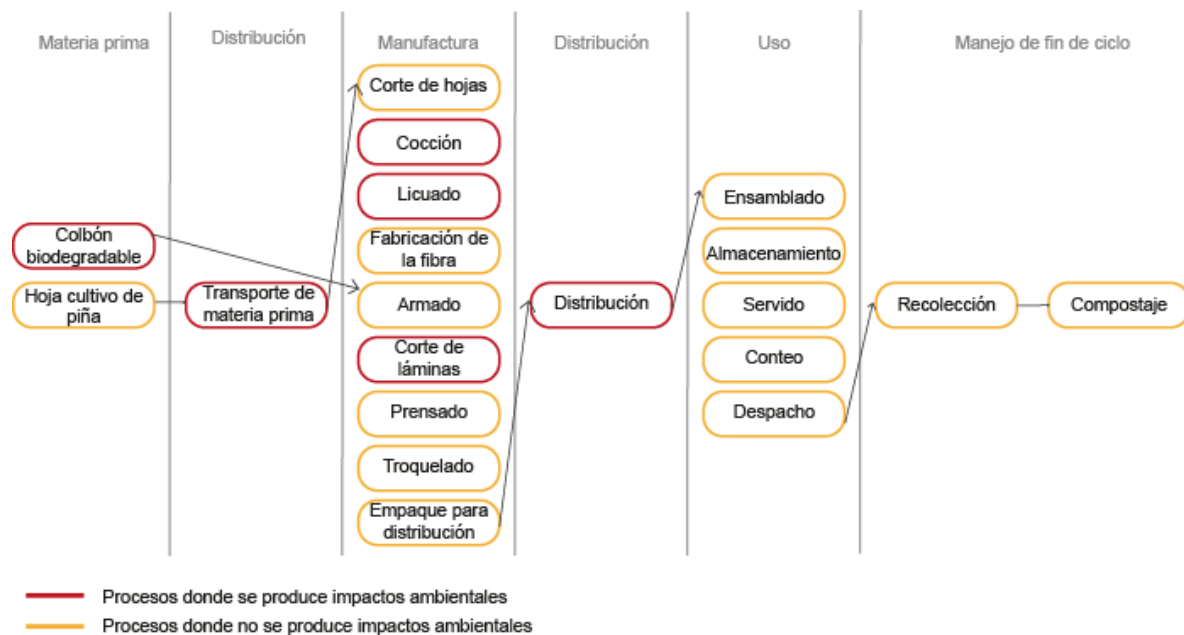


Figura 60. Análisis de ciclo de vida empaque propuesto. Elaboración propia.

17.2.3 Análisis de inventario

17.2.3.1 Recolección de datos

En la parte de materia prima se limitaron los datos de entrada y salida a partir de la obtención de pulpa y el establecimiento del cultivo de piña, hasta la obtención del deshoje del cultivo. Cabe resaltar que no se dan detalles específicos de los procesos de manufactura de la materia prima, ya que los datos de esta etapa son encontrados mediante investigación bibliográfica.

Para la etapa de transporte de materia prima se analiza solamente la distancia recorrida en kilómetros y el impacto ambiental en torno a la cantidad de combustible utilizado.

La etapa de manufactura comprende los procesos conceptualizados en el ciclo de vida del empaque propuesto a partir de la fibra de piña.

17.2.3.2 Procesamiento de la información

Los datos obtenidos mediante investigación bibliográfica fueron relacionados para cada insumo y producto en función del peso de cada empaque. Se utilizó el software UMBERTO LCA, que permite calcular y visualizar los flujos de materia y energía a lo largo de un ciclo de vida para establecer impactos en las etapas de transporte y manufactura, obteniendo resultados de carácter ambiental (Ver anexo I).

17.2.3.3 Características del inventario ambiental

Se detallan las características y suposiciones que se tuvieron en cuenta para la elaboración de cada etapa del inventario:

Colbón biodegradable y glicerina

El colbón biodegradable como la glicerina son un compuesto clave en la elaboración del empaque propuesto. Se usa para la producción de la fibra de piña y adhesivo del empaque.

Empaque propuesto

- **Materia prima:** Se tiene en cuenta los insumos necesarios para el establecimiento del cultivo como fertilizante y desinfectante. No se tienen en cuenta los procesos que hacen referencia a la recolección de la fruta de piña. El proceso de recolección de la hoja del cultivo se realiza manual.
- **Transporte de materia prima:** Se definió en el ciclo de vida que la materia prima viene desde fincas ubicadas en el municipio de Lebrija. Por lo tanto, se tiene en cuenta la distancia recorrida en kilómetros para definir el consumo de combustible.
- **Manufactura:** Se tiene en cuenta el consumo de recursos de energía, agua y gas en relación con el tiempo empleado durante cada proceso para la unidad del empaque.

17.2.4 Evaluación del impacto ambiental

Se seleccionaron cuatro categorías de impacto ambientales, calentamiento global, eutrofización acuática, acidificación terrestre y consumo energético.

17.3 Resultados y discusión

17.3.1 Materia prima

Para la etapa de materia prima, el empaque propuesto presenta mayor impacto ambiental sobre el aporte de nutrientes inorgánicos a los ecosistemas acuáticos, esto debido a los fertilizantes utilizados durante su proceso de cosecha.

Tabla 18. Impacto ambiental en la etapa de materia prima para el empaque propuesto. Elaboración propia.

Análisis de materia prima empaque propuesto		
Establecimiento/Propagación		
Sustancia	Cantida d	Unidad
Semillas	9,00	Und
Fertilizante de nitrógeno	0,0008	kg
Fertilizante de fósforo	0,00	kg
Herbicida	0,00039	kg
Cal	0,00024	kg
Gasolina	0,00080	kg
Producción		
Fertilizantes de nitrógeno	0,0032	kg
Fertilizantes de fósforo	0,002	kg
Impacto ambiental potencial		
Calentamiento global	0,06	kg CO2-eq
Acidificación terrestre	0,23	g SO2-eq
Eutrofización acuática	0,36	g PO4-eq
Consumo energético	0,000	Kj
Fuente: Valenzuela (2016)		

17.3.2 Transporte de materia prima

Para los resultados de la etapa de materia prima es importante resaltar que los indicadores están relacionados directamente con la distancia recorrida. Como se indica en la tabla 19, gracias a que los proveedores de materia prima son regionales esta etapa no presenta gran impacto ambiental.

Tabla 19. Impacto ambiental en la etapa de transporte de materia prima para el empaque propuesto. Elaboración propia.

Transporte de materia prima empaque propuesto		
Distancia recorrida	Cantidad	Unidad
		19,2
Impacto ambiental potencial		
Calentamiento global	0,01	Kg CO2-eq
Acidificación terrestre	0,0001	g SO2-eq
Eutrofización acuática	0,0042	g PO4-eq
	Indeterminad	KJ
Consumo energético	o	
Fuente: Nerhagen (2015)		

17.3.3 Manufactura

Esta etapa presenta un mayor consumo energético debido a la cantidad de procesos y maquinaria necesaria para la elaboración del material.

Tabla 20. Impacto ambiental en la etapa de manufactura del empaque propuesto. Elaboración propia.

Transformación empaque propuesto		
	Cantida d	Unidad
Cocción		
Consumo de gas	0,19	m3/h
Tiempo de cocción	0,005	Horas
Consumo de gas	0,00095	m3
Licuado		
Consumo energético licuadora	10	KJ/h
Tiempo de licuado	0,1	Horas
Agua	0,025	L
Consumo energético licuadora	1	KJ/h

Cortado		
Consumo energético máquina	6	KJ/h
Tiempo de cortado	0,016	Horas
Consumo energético	0,43	KJ/h
Troquelado		
Consumo energético máquina	3600	KJ/h
Tiempo de troquelado	0,0013	Horas
Consumo energético	4,68	KJ
Impacto ambiental potencial		
Calentamiento global	0,0002	Kg CO2-eq
Acidificación terrestre	0	g SO2-eq
Eutrofización acuática	0,0001	g PO4-eq
Consumo energético	40,31	KJ
Fuente: Fibrense, Lebrija		

17.3.4 Evaluación del impacto ambiental

A continuación, en la tabla 21 se presenta la suma de los impactos ambientales en todas las etapas para el empaque propuesto.

Tabla 21. Impacto ambiental potencial del empaque propuesto. Elaboración propia.

Impacto ambiental potencial		
Calentamiento global	0,0702	kg CO2-eq
Acidificación terrestre	0,2301	g SO2-eq
Eutrofización acuática	0,3643	g PO4-eq
Consumo energético	40,310	KJ

Un buen manejo del ciclo de vida de un producto se refleja directamente en los impactos ambientales producidos por este. Es evidente que el uso intensivo de recursos está directamente relacionado con el impacto ambiental producido.

Teniendo un enfoque de la cuna a la puerta, donde solo se están analizando la materia prima, el transporte y la manufactura, se obtienen resultados satisfactorios para el empaque propuesto. El mayor impacto ambiental se produce en el indicador de eutrofización acuática, esto puede ser debido principalmente al uso de fertilizantes durante la etapa de materia prima en sus dos subetapas: Establecimiento y producción. Asimismo, cabe resaltar que la hoja de la cosecha del cultivo de la piña es considerada un desecho, es decir, la industria no se concentra en la producción de las hojas de la cosecha, si no estas vienen siendo un subproducto.

18. CONCLUSIONES

- El municipio de Lebrija, Santander, es uno de los lugares donde principalmente se cosecha la piña. La hoja que deja este cultivo puede ser utilizada para generar diferentes productos gracias a las propiedades físicas y químicas de la fibra que esta posee.
- La investigación desarrollada en el proyecto permite aportar al crecimiento del municipio de Lebrija a nivel comunicacional mediante la creación de un material elaborado con materia prima obtenida de este lugar.
- Los empaques utilizados actualmente para comidas rápidas tienen oportunidades de mejora a través de la implementación de materias primas más amigables con el medio ambiente. La hoja de la fibra de piña gracias a sus características físicas y mecánicas es una buena opción para fabricar laminados que pueden reemplazar el uso de poliestireno expandido y plástico utilizado en los empaques actuales.
- El material basado en la fibra de piña ofrece un potencial significativo para aplicaciones diversas, incluyendo la fabricación de macetas biodegradables y otros productos funcionales. No obstante, la realización de estudios adicionales es crucial para confirmar su seguridad en contacto con alimentos y en aplicaciones agrícolas, asegurando así que el material no solo sea funcional y sostenible, sino también seguro para su implementación en el mercado.
- A pesar de que se plantea una opción de diseño para el empaque propuesto, se puede seguir evaluando la materia prima utilizada, a fin de plantear otros conceptos que exploten de mejor manera este material, cumpliendo con los requerimientos del empaque.

- Los adhesivos testeados durante el proyecto pueden ser utilizados para elaborar empaques dirigidos a otras áreas pues cada uno presenta características diferentes que pueden ser aprovechables para diferentes usos continuando con un estudio del material.
- La responsabilidad ambiental hoy en día es uno de los aspectos más relevantes a la hora de plantear nuevos productos, materiales o procesos. Es evidente la variedad de opciones en el mercado para sustituir materiales convencionales en la fabricación de empaques, que no se implementan porque no se tiene conocimiento aproximado de los cambios que estos podrían significar en el sistema.
- El desarrollo del proyecto logra dar respuesta a la pregunta de diseño formulada. La fibra de piña al mezclarse con algún aditivo forma un material lo suficientemente resistente para poder elaborar un empaque.

REFERENCIAS

10 técnicas de generación de ideas recomendadas. (2020). Definición. <https://definicion.edu.lat/psicologia/08EADC4368D4571F94FD20D5134F3EBD.html>

A ciencia cierta. (s. f.). JORNALEANDO LA FIBRA DE PIÑA: Para el desarrollo, transformación social y económica de las comunidades del municipio de Lebrija. <https://acienciacierta.minciencias.gov.co/index.php/experiencias-ganadoras-desarrollo-local/126-2020-desarrollo-local-para-transformar-realidades/experiencia-ganadoras/646-jornaleando-la-fibra-de-pina-para-el-desarrollo-transformacion-social-y-economica-de-las-comunidades-del-municipio-de-lebrija>

BLU Radio. (2021, 2 de marzo). A salvar el mundo: en Santander transforman tallos de piña en papel para agendas y bolsas. <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/a-salvar-el-mundo-en-santander-transforman-tallos-de-pina-en-papel-para-agendas-y-bolsas>

Crul, M. R. M., Diehl, J. C., Delft University of Technology, & Facultad de Ingeniería en Diseño Industrial. (s. f.). Diseño para la sostenibilidad, un enfoque práctico para economías en desarrollo (UNEP ed.). CNP. <http://centro.paot.org.mx/documentos/pnuma/sostenibilidad.pdf>

Directorio Forestal Maderero. (2018). Karta-Pack Bamboo. Recuperado de <http://www.forestmaderero.com/>

Directorio Forestal Maderero. (2019). Empaque de hoja de plátano. Recuperado de <http://www.forestmaderero.com/>

Ecoinventos. (2017). Un estudiante islandés utiliza algas para crear una botella biodegradable. Recuperado de <http://www.ecoinventos.com>

- Ecoinventos. (2018). Investigadores tailandeses crean platos desechables hechos de hojas. Recuperado de <http://www.ecoinventos.com>
- Greenpeace Colombia. (2018). Crisis ambiental por contaminación plástica. Greenpeace. <https://www.greenpeace.org/colombia/ambiente/plastico/>
- Hernández, R. A., & Prado Barragán, L. A. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. Cuadernos de investigación UNED. Published. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v10n2/1659-4266-cinn-10-02-455.pdf>
- Hotchkiss, J. H. (1988). Food packaging: Principles and practice. Springer.
- Huppés, G., Finnveden, G., Suècia. Environmental Protection Agency, & SETAC-Europe. Europe Working Group on Inventory Enhancement. (2018). Lyfe cicle assessment, theory and practice. Springer.
- Kantar. (2020). 9 de cada 10 personas pide domicilios. Kantar. <https://www.kantar.com/latin-america/inspiracion/consumidor/9-de-cada-10-personas-pide-domicilios>
- Kasim, A., Selamat, M., Aznan, N., Sahadan, S.N., Daud, M.A.M., Jumaidin, R., Salleh, S. (2015). Effect of pineapple leaf fiber loading on the mechanical properties of pineapple leaf fiber-Polypropylene composite. Jurnal Teknologi, 77 (21), 177-123. DOI: 10.11113/jt.v77.6617
- Maderero, D. D. F. (2018, 2 mayo). Fibra de bambú alternativa al plástico en empaques. Forestal Maderero. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/fibra-de-bambu-alternativa-al-plastico-en-empaques.html>

Maderero, D. D. F. (2019, 2 octubre). Supermercado cambia los empaques plásticos por hojas de plátano. Forestal Maderero. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/supermercado-cambia-los-empaques-plasticos-por-hojas-de-platano.html>

Material District. (2016). Cocomform. Recuperado de <http://www.enkev.com/>

Minagricultura. (2019, junio). Cadena de la piña. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%20C3%91A.pdf>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (s. f.). Características de un producto identificado con el Sello Ambiental Colombiano [Gráfico]. https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Sello_ambiental_colombiano/redise%C3%B1o_/Plegable_SAC.pdf

Natural Packaging Cocomform - ENKEV. (s. f.). enkev.com. Recuperado 6 de septiembre de 2021, de http://www.enkev.com/en/market/packaging_22/

Navia, D. P. (2013). Empaque y su importancia en la industria alimentaria. Editorial Universitaria.

Navia, D. P., Ayala, A. A., & Villada, H. S. (2014). Interacciones empaque-alimento: migración. Revista ingenierías Universidad de Medellín. Published. https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1827/Revista_Ingenierias_UdeM_234.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Nerhagen, Lena & Janhäll, Sara. (2015). Exhaust emissions and environmental classification of cars. What indicators are relevant according to external cost calculations?

Osterwalder, A. (2015). Introducción. <https://goo.gl/5syKGn>

Papel de Pulpa de Piña: Proceso de Elaboración. (2021, 13 marzo). La piña tropical.

<http://lapiniatropical.blogspot.com/2016/07/papel-de-pulpa-de-pina-proceso-de.html>

Periódico 15. (2022, 7 de febrero). La capital mundial de la piña, sin piña.

Periódico 15.

<https://www.periodico15.com/la-capital-mundial-de-la-pina-sin-pina/>

Portafolio. (s/f). Domicilios en el país alcanzaron cifras históricas. Portafolio.co.

Recuperado el 1 de octubre de 2023, de

<https://www.portafolio.co/negocios/domicilios-en-el-pais-alcanzaron-cifras-historicas-539576>

Producción de piña llegaría a más 950 mil toneladas en 2018, calcula

MinAgricultura. (18-05-22). Minagricultura.

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Produccion-de-pi%C3%B1a-llegar%C3%ADa-a-m%C3%A1s-950-mil-toneladas-en-2018,-calcula-MinAgricultura-.aspx>

R. (2017, 24 octubre). Un estudiante islandés utiliza algas para crear una botella biodegradable. EcoInventos.

<https://ecoinventos.com/estudiante-islandes-utiliza-algas-crear-la-botella-biodegradable/>

R. (2019, 5 marzo). Investigadores tailandeses crean platos desechables hechos de hojas. EcoInventos.

<https://ecoinventos.com/platos-desechables-hechos-de-hojas/>

Radio Nacional de Colombia. (2021, 19 de agosto). Santandereanos crean papel y artesanías con hojas de la piña. Radio Nacional de Colombia.

<https://www.radionacional.co/actualidad/santandereanos-crean-papel-y-artes-anias-con-hojas-de-la-pina>

Redacción BLU Radio. (2021, 2 marzo). A salvar el mundo: en Santander transforman tallos de piña en papel para agendas y bolsas. Blu Radio. <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/a-salvar-el-mundo-en-santander-transforman-tallos-de-pina-en-papel-para-agendas-y-bolsas>

Redacción Vanguardia.com. (2021, 28 febrero). Papel de hoja de piña, la iniciativa de Lebrija galardonada por MinCiencia. www.vanguardia.com. <https://www.vanguardia.com/economia/local/papel-de-hoja-de-pina-la-iniciativa-de-lebrija-galardonada-por-minciencia-FC3455968>

SALAZAR, Raúl. Memorias Primer Simposio Latinoamericano de Piñicultura, "Situación del cultivo de piña en Colombia". Cali: 1992

Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 45-60. <https://jci.uniautonoma.edu>