

ESTUDIO DE LA ELABORACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCTOS PARA
ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS CON MATERIALES COMPOSITOS A PARTIR
DE ALMIDÓN Y RESIDUOS DE LA FIBRA DE FIQUE (*Furcraea sp.*) PROVENIENTE
DE LA EMPRESA FIQUEXPORT SAS DE LA CIUDAD DE PASTO

AUTORES

CAMILA ALEJANDRA SÁNCHEZ INSUASTI

DANIELA ENRIQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE ARTES

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2022

ESTUDIO DE LA ELABORACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCTOS PARA
ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS CON MATERIALES COMPOSITOS A PARTIR
DE ALMIDÓN Y RESIDUOS DE LA FIBRA DE FIQUE (*Furcraea sp.*) PROVENIENTE
DE LA EMPRESA FIQUEXPORT SAS DE LA CIUDAD DE PASTO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE DISEÑO INDUSTRIAL

AUTORES

CAMILA ALEJANDRA SÁNCHEZ INSUASTI

DANIELA ENRIQUEZ PAZ

PhD. CARLOS CÓRDOBA CELY

MSc. YANETH GABRIELA MISNAZA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE ARTES

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2022

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1° del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Karol Liliana Suárez Solarte

Jurado

Willian Dario Obando Matabajoy

Jurado

Guillermo Escandón Diaz Del Castillo

Jurado

San Juan de Pasto, 1 de Noviembre de 2022

ACUERDO No. 087
(16 de noviembre de 2022)

EL CONSEJO DE LA FACULTAD DE ARTES DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO
En ejercicio de sus atribuciones legales, estatutarias y,
CONSIDERANDO

Que mediante Proposición No. 015 del 16 de noviembre del 2022, emanada del Comité Curricular del programa de Diseño Industrial, propone la distinción LAUREADA, para el trabajo de grado de las estudiantes Camila Sánchez y Daniela Enríquez, del Programa de Diseño Industrial.

Que las egresadas CAMILA ALEJANDRA SANCHEZ INSUASTI, identificada con código estudiantil 215109103 y DANIELA ENRIQUEZ PAZ, identificada con código estudiantil 215109036 del Programa de Diseño Industrial, presentaron y aprobaron su trabajo de grado modalidad Proyecto de Diseño titulado: "ESTUDIO DE LA ELABORACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCTOS PARA ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS CON MATERIALES COMPOSITOS A PARTIR DE ALMIDÓN Y RESIDUOS DE LA FIBRA DE FIQUE (*Furcraea* sp.) PROVENIENTE DE LA EMPRESA FIQUEXPORT SAS DE LA CIUDAD DE PASTO".

Que los jurados: KAROL LILIANA SUAREZ, GUILLERMO ESCANDON y WILLIAM DARIO OBANDO, evalúan el trabajo de grado con un puntaje de 100 puntos, y los conceptos emitidos señalan, que:

- El proceso de exploración de las características del material como residuo industrial, evidencia la dedicación de las estudiantes para llevar sus ensayos, experimentaciones, pruebas de propiedades físicas y químicas y de análisis de los resultados hasta un nivel que les permitió actuar con suficiencia y seguridad en el proceso de diseño de producto. Este proceso de experimentación demuestra la disposición y capacidad de las estudiantes para el desarrollo de un trabajo interdisciplinar.
- La etapa de diseño y elaboración de la línea de productos para empaque y almacenamiento demuestra una exploración amplia y bien orientada que toma en cuenta las características del material, las características de los productos a contener, las condiciones de biodegradabilidad del material desarrollado y otras condiciones de diseño que pudieran afectar el desempeño de la línea de productos a proponer.
- Las estudiantes exploran las condiciones de mercado para los contenedores de alimentos como empaque para la comercialización, llevando los resultados a un contexto real de desempeño; este esfuerzo se hace de manera complementaria al proyecto y genera la posibilidad de hacer ajustes en su propuesta lo cual ofrece resultados que pueden aplicarse en el contexto real.
- El trabajo de grado en mención fue presentado en eventos locales nacionales e internacionales. Es necesario destacar que en el encuentro "Bienal Iberoamericana de Diseño" (BID) en Madrid (España) el proyecto recibió Mención de Honor. La difusión de este trabajo y la presentación de los avances en estos eventos representa una destacada contribución al reconocimiento del programa de Diseño Industrial y de la Universidad de Nariño en el contexto académico de la profesión.

Que el Comité Curricular considera pertinente la distinción.

Que, en virtud de lo anterior el Consejo de Facultad, mediante consulta del 16 de noviembre de 2022, considera pertinente la solicitud, por tanto,

ACUERDA

ARTÍCULO PRIMERO: Aprobar la distinción LAUREADA al trabajo de grado titulado “ESTUDIO DE LA ELABORACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCTOS PARA ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS CON MATERIALES COMPOSITOS A PARTIR DE ALMIDÓN Y RESIDUOS DE LA FIBRA DE FIQUE (*Furcraea* sp.) PROVENIENTE DE LA EMPRESA FIQUEXPORT SAS DE LA CIUDAD DE PASTO”, presentado por las estudiantes del programa de Diseño Industrial, CAMILA ALEJANDRA SANCHEZ INSUASTI, identificada con código estudiantil 215109103 y DANIELA ENRIQUEZ PAZ, identificada con código estudiantil 215109036

COMUNÍQUESE Y CUMPLASE

Dada en San Juan de Pasto, a los 16 días del mes de noviembre del 2022.



GERARDO SÁNCHEZ D.
Decano

Revisó: Liliana Carrasco – Secretaria Académica



LILIANA CARRASCO V.
Secretaria Académica

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecemos a Dios por guiarnos y conducirnos en este camino. Así mismo queremos agradecer a la Vicerrectoría de Investigación e Interacción Social VIIS al brindarnos la financiación requerida para desarrollar este proyecto. También a los grupos de investigación Artefacto del departamento de diseño y Gifba adscrito al departamento de química, a nuestros asesores, jurados y a los docentes del departamento y de la Universidad que contribuyeron en todo este proceso.

De igual forma resaltamos el apoyo de familiares, amigos y demás personas que aportaron en el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

En Nariño, el fique es destinada principalmente para la elaboración de carretos de hilo, proceso que genera residuos como fibra corta. Al mes se generan dos toneladas de residuos, donde en el peor de los casos para disminuir el volumen y costos de manejo son incinerados, acción que conlleva a la producción de emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo el aprovechamiento de la fibra corta de fique, por lo tanto, se estudiaron propiedades mecánicas, térmicas y fisicoquímicas del material compuesto. Elaborado a partir de almidones, los cuales, representan la matriz del material, junto con la fibra corta como material de refuerzo. Se caracterizaron cuatro muestras: almidón de papa, almidón de yuca, almidón de papa fibroreforzado y almidón de yuca fibroreforzado. En un inicio las fibras fueron sometidas a un tratamiento alcalino con el fin de mejorar la interacción entre la matriz y el refuerzo, sin embargo, el pretratamiento no repercutió positivamente en el desempeño mecánico de la fibra, debido a la baja cantidad de componentes estructurales que removió. Dentro de los resultados de las propiedades mecánicas AY presento una mayor resistencia a tensión y menor deformación, caso contrario a lo encontrado para AP. Los análisis térmicos arrojaron que APF requiere de una menor temperatura para gelatinizarse, mientras que AY al necesitar de más temperatura para su gelatinización tiene mayor estabilidad en términos de durabilidad. En la prueba de biodegradabilidad AY se degrado en un periodo inferior a 30 días, característica ratificada con la prueba de solubilidad. Con la caracterización sensorial se confirmó que la muestra de AYF permite generar estructuras a través del plegado, característica útil para la elaboración de empaques como cajas, mientras que, AP al exhibir una gran flexibilidad facilito coserlo en máquina y emplearlo para el diseño de bolsas de compras.

Palabras Clave: Fibra natural, Fique, Material composite, Productos biodegradables, Residuo.

ABSTRACT

In Nariño, the fique is destined mainly for the elaboration of thread carts, a process that generates waste such as short fiber. Two tons of waste are generated per month, where in the worst case to reduce the volume and management costs they are incinerated, an action that leads to the production of greenhouse gas emissions. In this context, the present investigation has as objective the use of the short fique fiber, therefore, mechanical, thermal and physicochemical properties of the composite material were studied. Made from starches, which represent the matrix of the material, together with the short fiber as reinforcement material. Four samples were characterized: potato starch, cassava starch, fiber-reinforced potato starch and fiber-reinforced cassava starch. Initially, the fibers were subjected to an alkaline treatment in order to improve the interaction between the matrix and the reinforcement, however, the pretreatment did not have a positive effect on the mechanical performance of the fiber, due to the low number of structural components involved. removed. Within the results of the mechanical properties, AY presented a higher resistance to tension and less deformation, contrary to what was found for AP. The thermal analyzes showed that APF requires a lower temperature to gelatinize, while AY, as it requires a higher temperature for its gelatinization, has greater stability in terms of durability. In the AY biodegradability test, it degraded in a period of less than 30 days, a characteristic ratified by the solubility test. With the sensory characterization, it was confirmed that the AYP sample allows structures to be generated through folding, a useful characteristic for the preparation of packaging such as boxes, while AP, by exhibiting great flexibility, made it easier to sew it on a machine and use it for the design of shopping bags.

Keywords: Natural fiber, Fique, Composite material, Biodegradable products, Waste.

Tabla de Contenido

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo general:	17
3.2 Objetivos específicos:	17
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1 Diseño ecológico	18
4.1.1 Reutilizar	18
4.1.2 Material Biodegradable	18
4.2 Material compuesto o composite.....	19
4.2.1 Biocomposite	20
4.2.2 Matrices poliméricas.....	21
4.3 Fibras naturales	22
4.3.1 Fique (Furcraea sp.).....	22
4.4 Procesado de la fibra de Fique	23
4.4.1 Proceso de hilado en la empresa FIQUEEXPORT SAS.....	24
4.5 Residuos Industriales.....	26
4.5.1 El bagazo	26
4.5.2 La estopa.....	27
4.5.3 Residuos del proceso de desfibrado de la fibra	27
5. ANTECEDENTES	28
6. METODOLOGÍA.....	34
6.1 Reconocimiento:.....	35
6.1.1 Definición del problema:	35
6.1.2 Causas y Consecuencias:	35
6.2 Proyección:.....	36
6.2.1 Reto de diseño:	36
6.2.2 Propuesta Creativa:.....	36
6.3 Materialización:.....	37
6.3.1 Experimentación:.....	37

6.3.1.1 Obtención de la muestra a usar:.....	37
6.3.1.2 Preparación y caracterización de la materia prima:.....	37
6.3.1.3 Elaboración de las láminas:.....	38
6.3.1.4 Caracterización del material composite:.....	39
6.3.1.4.1 Pruebas mecánicas.....	40
6.3.1.4.2 Técnicas de análisis térmico.....	41
6.3.1.4.3 Prueba de solubilidad.....	41
6.3.1.4.4 Prueba de Biodegradabilidad.....	42
6.3.1.4.5 Exploración del material.....	43
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	43
7.1 Caracterización de la materia prima.....	44
7.2 Caracterización del material composite:.....	46
7.2.1 Pruebas mecánicas.....	46
7.2.2 Técnicas de análisis térmico.....	48
7.2.3 Prueba de Solubilidad.....	51
7.2.4 Prueba de Biodegradabilidad.....	53
7.2.5 Exploración del material.....	54
8. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA LINEA DE PRODUCTOS.....	57
8.1 Factores Determinantes del material:.....	57
8.2 Oportunidades de Diseño:.....	58
8.3 Desarrollo de la propuesta escogida.....	60
8.4 Procesos de boceto del empaque.....	61
8.5 Propuesta final de la línea de empaques.....	63
8.6 Proceso de Validación.....	68
8.7 Desarrollo de las propuestas.....	71
8.7.1 Proceso de Bocetación.....	73
8.7.2 Proceso de Maquetación.....	73
8.7.3 Prototipos a escala en el material compuesto.....	75
9. CONCLUSIONES.....	78
10. RECOMENDACIONES.....	79
11. EVENTOS DE DIVULGACIÓN.....	81
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1. Contenido de componentes estructurales de la fibra.	44
---	----

Lista de Figuras

Figura 1. Configuración básica de un material compuesto.....	19
Figura 2. Residuos generados en la empresa	36
Figura 3. a) Tratamiento a la fibra b) Agua de enjuague con ph neutro	37
Figura 4. a) Montaje prueba mecánica a la fibra de fique	38
Figura 5. a) y b) Preparación de la mezcla c) Secado de las láminas en horno	39
Figura 6. a) Montaje prueba mecánica b) Probetas de películas.....	40
Figura 7. a) Prueba de solubilidad	42
Figura 8. a) Prueba de biodegradabilidad	42
Figura 9. a) Montaje prueba mecánica de fibra en laboratorio de la Universidad de Nariño b) Muestra de fibra rota.....	45
Figura 10. Gráfica del peso que resiste las muestras de fibra natural y fibra alcalinizada	46
Figura 11. Gráfica de esfuerzo (MPa) vs Deformación en las cuatro variaciones	47
Figura 12. Montaje prueba mecánica Escuela de Ingeniería de la Universidad del Valle b) Probeta rota	47
Figura 13. Termogramas DSC para las cuatro variaciones.....	49
Figura 14. Termogramas TGA para las cuatro variaciones	50
Figura 15. Muestra de a) AP b) APF c) AY d) AYF a 50 días de estar en agua fría.....	52
Figura 16. Muestra de a) APF b) AYF c) AY el primer día en agua caliente	52
Figura 17. Muestras de a) AP b) APF c) AY y d) AYF en agua caliente una vez terminada la prueba.....	53
Figura 18. Prueba de biodegradabilidad para las cuatro variaciones a lo largo del tiempo. Se presenta en la figura los días en que aún se observaban fragmentos de las láminas	54
Figura 19: Caracterización sensorial de cada una de las muestras	55
Figura 20: Pruebas de costura en AYF	56
Figura 21. a) y b) Pruebas de termoformado en APF Y AYF c) y d) Prueba con corte laser en AYF.....	56
Figura 22. Pruebas con selladora de calor en a) AY y b) AYF c) Prueba de generación de texturas en AY	57
Figura 23. Bocetos de las oportunidades de diseño	58

Figura 24. Maquetas iniciales de posibles empaques	59
Figura 25. Maquetas iniciales de posibles empaques	60
Figura 26. Logotipo y paleta de color	60
Figura 27. Composición del empaque	61
Figura 28. Bocetos del diseño de las cajas y sus variaciones	62
Figura 29. Primeras maquetas tridimensionales de las cajas y sus variaciones.....	63
Figura 30. Maquetas tridimensionales de las cajas y sus variaciones.....	63
Figura 31. Prototipos reales del empaque	65
Figura 32. Prototipos reales del empaque	66
Figura 33. Prototipos reales del empaque	66
Figura 34. Prototipos reales del empaque y bolsa de compras	67
Figura 35. Resumen de resultados entrevista.....	71
Figura 36. Resumen de resultados entrevista.....	73
Figura 37. Bocetos de las líneas a desarrollar.....	73
Figura 38. Primeras maquetas de las líneas	73
Figura 39. Maquetas tridimensionales segunda versión	74
Figura 40. Digitalización de propuestas.....	74
Figura 41. Prototipos reales de las líneas.....	75
Figura 42. Prototipos reales de las líneas.....	76
Figura 43. Prototipos reales de las líneas.....	77

1. INTRODUCCIÓN

El fique es una planta conocida científicamente con el nombre de *Furcraea sp*, es la fibra de mayor producción en Colombia, que se concentra en departamentos como el Cauca, Nariño, Santander, Caldas, Guajira y Antioquia (Echeverri *et al.*, 2015 ; Minagricultura, 2019), siendo Nariño el principal productor de fique, con una participación del 41% de la producción total del país, con un estimado en la región de 6 mil hectáreas sembradas y un rendimiento anual de 1,33 t/ha de fibra (Minagricultura, 2019). Esta fibra ofrece infinidad de utilidades industriales y artesanales al mundo, donde los principales destinos de comercialización de la fibra son un 70% para elaborar empaques, sacos, costales para productos agrícolas y de exportación, un 15% para la producción de agromantos y geotextiles, un 10 % destinado a cordeles y sogas y un 5% correspondiente a productos artesanales (Corpoica, 2004; Azcárate, 2015).

En el proceso de transformación para obtener la fibra se utiliza solo el 5% de la hoja, siendo este el derivado que más es aprovechado en el sector comercial; respecto a los desechos generados, el 50% corresponde a jugo, residuo empleado en la elaboración de jabones, plaguicidas y el otro 45% restante es una mezcla de ripio (residuo), motas y fibras cortas o estopas (bagazo) material utilizado para fabricar papel, relleno de colchones y actualmente se usa en aglomerados y fibroreforzados en el área de construcción (Agroindustria del Fique, 2009; Cadefique, 2006). No obstante, el aprovechamiento de estos desechos es mínimo provocando impactos ambientales negativos de carácter hídrico, como el vertimiento de jugos y el lavado de la fibra en fuentes de agua y la disposición de residuos sólidos y líquidos en el suelo trae consigo efectos geosféricos favorables (Mesa & Uribe, 2009).

Lo anterior, describe levemente el contexto actual de la planta de fique y esta investigación se centrará en la empresa FIQUEXPORT SAS, dedicada a la fabricación de ovillos de hilo de

dos, tres o cuatro hebras, ubicada en el barrio Villa Nueva de la Ciudad de Pasto y en donde, según la entrevista realizada al gerente de la empresa y en la visita de reconocimiento de los procesos de producción desarrollados por la cordelería, se adquieren aproximadamente 8 toneladas de fibra de fique de algunos municipios de Nariño al mes. El proceso de producción inicia con la recepción de materia prima, posteriormente se pasa la cabuya por diferentes máquinas que contribuyen con la limpieza, desenredo, estiramiento y formación de los carretos, resultando tres tipos de sobrantes como son motas, polvillo y estopa, dando un total de dos toneladas de restantes sólidos al mes, que se organizan en costales de plástico (Tokpsico, 2016). Puesto que la empresa no cuenta con un espacio adecuado para el almacenamiento de estos remanentes y carece de un plan de gestión para los mismos, se ha optado por donarlos en algunas fincas como abono o entregarlos a la empresa local encargada de la recolección y tratamiento, llamada EMAS SA.

El alto volumen de residuos generados en FIQUEEXPORT provoca una mayor carga en el relleno sanitario (parque tecnológico ambiental antanas, PTAA), el cual recibe mensualmente cerca de 12.000 toneladas de residuos sólidos (Semana, 2017). Para contrarrestar este efecto y aumentar la vida útil del PTAA, se debe reducir la cantidad de residuos a disponer implementando medidas de aprovechamiento (Benavides, 2015). Esta cordelería desconoce tanto el potencial económico, como el impacto ambiental que pueden generar la reutilización de estos sobrantes. Según lo mencionado, este proyecto busca promover la diversificación de productos funcionales con potencial propiedad biodegradable y con posible actividad comerciable a futuro, utilizando residuos que genera la empresa de interés.

Por lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las características que debe poseer un material composite que permita la elaboración de una línea de productos para el almacenamiento de alimentos a partir de

almidón y residuos de la fibra de fique (*Furcraea sp.*) provenientes de la empresa FIQUEXPORT SAS de la ciudad de pasto?

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la alta demanda de la planta de fique (*Furcraea sp.*) se debe a sus características físicas como son: el gran tallo erguido que presenta hojas largas y carnosas de color verde, en forma radial, dentado espinosas, cuyo proceso de plantación de fique tiene una duración de 36 meses, momento en el cual se inicia su cosecha (Agroindustria del fique, 2009). Algunas especies cultivadas en el territorio nacional son: Tunosa Común, Uña de Águila, Ceniza, Bordo de Oro y Rabo de Chucha (Cadefique, 2006) y las ventajas de la fibra de estas especies son tanto de carácter ambiental como económico, puesto que tienen un menor costo en comparación con fibras sintéticas, poseen propiedades mecánicas que le otorgan resistencia a la tensión, dispone de un buen desempeño como aislante térmico (Contreras *et al.*, 2009) y además, se obtienen fibras duras de bajo peso y buena calidad (Posada *et al.*, 2016).

Después del cultivo, siembra y crecimiento de la planta se dispone a la cosecha y beneficio, donde se cortan las hojas o también llamadas pencas, que son la parte útil de la planta y de las cuales se extrae la fibra (Fenalfique, 2019), esta se desprende de la parte carnosa de la hoja, a través del raspado (Artesanías de Colombia), obteniendo así hilos o fibrillas alargadas, duras y biodegradables que al descomponerse se emplean como alimento y abono (Posada *et al.*, 2016). Uno de los beneficios que tiene el fique es que además de ser una fibra dura, posee una textura más fina en comparación con otras fibras naturales como el Henequén o el Sisal (Artesanías de Colombia, 2014), propiedades que la convierten en una excelente alternativa para ser utilizada como refuerzo en materiales compuestos (Contreras *et al.*, 2009).

Del proceso de transformación de la fibra de fique que realiza la empresa FIQUEXPORT SAS, se genera un alto volumen de residuos que al ser un material 100% biodegradable de origen natural, tiene potencial dentro de los diferentes materiales industriales. Un ejemplo de ellos es la estopa, la cual actualmente es aprovechada principalmente en el sector de la construcción en la elaboración de materiales de refuerzo lo que permite mejorar las propiedades de resistencia a la tensión y flexión del concreto (Jiménez et al., 2011; Pinto & Figueroa, 2016). Otros usos ampliamente conocidos de los residuos de la fibra de fiques están relacionados con la obtención de placas laminadas como sustituto de la madera (Delvasto *et al.*, 2001) y con el diseño y desarrollo de empaques biodegradables (Balaguera 2011; Navia 2011).

En la actualidad, los productos derivados de petróleos, tales como el poliestireno, polipropileno y polietileno, polímeros que tienen un tiempo de descomposición de aproximadamente 100 a 1000 años, material que una vez es desechado se convierte en un grave problema por su persistencia en el medio ambiente y por la gran cantidad de residuos sólidos generados (Ballesteros 2014; Pérez *et al.*, 2017). Por otra parte, el proceso de reciclaje es costoso y difícil de ejecutar, produciendo grandes cantidades de sustancias tóxicas que afectan notablemente el ambiente (García 2015; Pérez *et al.*, 2017). A través de la elaboración de productos de diseño industrial, se dará a conocer los beneficios, propiedades y características que la estopa posee, para aplicarlo en la realización de prototipos formales de desechables a partir de los composites fabricados en laboratorio. Según lo mencionado, se busca incorporar los resultados obtenidos en el campo del ecodiseño para rescatar la importancia del uso de materiales naturales y reciclables, con la capacidad de reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo y con atributos similares a los plásticos convencionales, los cuales son livianos, rígidos y resistentes.

Cabe resaltar que en la región no se han generado emprendimientos relacionados a la fabricación de desechables con fibra de fique, a pesar que el recurso (estopa) para su transformación existe. Por lo tanto, es importante generar propuestas innovadoras como la presente, teniendo en cuenta que para su materialización es necesario contar con apoyo financiero que a largo plazo permitirá la tecnificación de este sector. Aspectos que promoverán el uso efectivo de los insumos y el aprovechamiento integral del procesamiento de la fibra, aportando a que los residuos dejen de ser un desperdicio contaminante y pasen a ser una materia prima con valor económico que resultará favorable para el medio ambiente. Los beneficios y características que poseen los residuos de la transformación de la fibra de fique (*Furcraea sp.*) tanto a nivel económico como ambiental son incipientes o en algunos casos desconocidos a nivel regional, específicamente por la empresa de interés. Esta investigación es una propuesta innovadora para que empresas regionales se interesen en el campo del desarrollo de nuevos materiales con el fin de aprovechar el potencial de los residuos en la elaboración de nuevos productos funcionales, comerciales, y amigables con el medio ambiente. Es pertinente realizar un estudio de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de estos residuos, para la formación de materiales composite con almidón, y así generar un valor agregado al modificar un residuo (estopa de fique) en recurso (materia prima), proyectando a futuro sustituir a los actuales materiales plásticos derivados del petróleo (Navia, 2010 ; Mina, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general:

Elaborar una línea de productos para almacenar alimentos con materiales composites a partir de almidón y residuos de la fibra de fique (*Furcraea sp.*) provenientes de la empresa FIQUEEXPORT SAS de la Ciudad de Pasto.

3.2 Objetivos específicos:

- Identificar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del residuo que se conoce como estopa o fibra corta de fique generada en la empresa FIQUEEXPORT SAS.
- Elaborar el material composite más idóneo a partir de los residuos de la fibra de fique con almidón y otros agentes plastificantes para su posterior caracterización.
- Diseñar una línea de productos a partir del nuevo material composite de residuos de la fibra de fique para la fabricación de prototipos que permitan el almacenamiento y transporte de alimentos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Diseño ecológico

La principal actividad del diseño industrial se centra en encontrar las soluciones a las problemáticas que se presentan en el entorno, por ejemplo en el caso de los problemas ambientales, estos pueden resolverse a través del ecodiseño, donde su principal objetivo es reducir el impacto ambiental de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, siendo este parte fundamental en las etapas iniciales de extracción de materias primas hasta que llega al consumidor y posteriormente en su eliminación (Usón *et al.*, 2010).

De acuerdo a esto, la labor del diseñador hoy en día deberá ir más allá de contemplar la sustentabilidad como una rama o área del diseño, integrando una parte implícita de la actividad del diseño industrial como tal (Vázquez, 2011).

4.1.1 Reutilizar

Consiste en emplear de nuevo un producto o sus componentes, los cuales ya cumplieron su principal función y pueden ser aprovechados de manera equitativa a la que fueron creados o para una función diferente que el usuario desee darle (Bernal, 2007).

4.1.2 Material Biodegradable

Se conoce que un material biodegradable, como aquel producto o incluso una sustancia que puede llegar a descomponerse en todos o algunos de sus elementos químicos por los cuales está conformado, algunos de ellos son: la acción de agentes biológicos como plantas, animales, microorganismos y hongos y bajo las condiciones ambientales naturales. Cada elemento que se encuentra en la naturaleza tiene su propio tiempo de degradación, debido a que depende de varios factores implícitos, principalmente del grado de complejidad de la

sustancia, los tipos de organismos que permiten su degradación y el medio en el que se encuentran (Amaguaya *et al.*, 2020).

4.2 Material compuesto o composite

Un material compuesto o composite debe poseer dos o más materiales físicamente distintos, se puede fabricar mezclando los distintos materiales que se desee, cuya combinación genere nuevas propiedades superiores a diferencia de las propiedades que los componentes tenían por separado (Fig. 1) (Pinto *et al.*, 2016 ; Mazón, 2017).

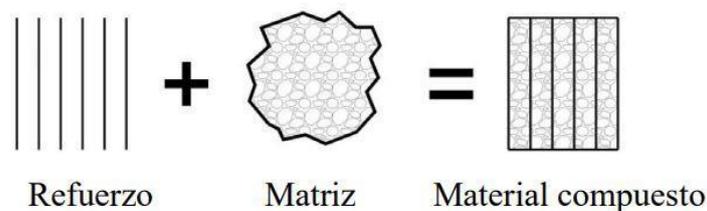


Figura 1. Configuración básica de un material compuesto

Fuente: Mazumdar, 2003 citado por Cedeño *et al.*, 2011

La mayoría de las propiedades que conforman los materiales que son físicamente fibrosos, dependen de factores y parámetros microestructurales tales como: su longitud, diámetro, entre otras, dependiendo de las propiedades. Hull (2003) señala que para conformar un material composite es importante conocer con anterioridad sus características para poder transformar acertadamente estos materiales, y de igual manera para que los parámetros de diseño y elaboración de un producto se concreten fácilmente.

Se conoce que un material compuesto no es una invención humana, debido a que este existe en la naturaleza. Por ejemplo la madera, debido a que está constituida por estructuras de fibras de celulosa recubiertas de una matriz compuesta por resinas naturales. Entonces estas fibras actúan dándole la resistencia necesaria que el vegetal requiere. Pero en el transcurso de los años el hombre y su evolución lo llevaron a crear el primer material compuesto; el adobe, el cual está formado por barro y una armadura de paja (Olivares, 2003).

4.2.1 Biocomposite

También llamados bioplásticos o biopolímeros se refieren a los materiales plásticos biodegradables que tienen su origen en materias orgánicas provenientes de fuentes renovables. Estos materiales se degradan por la acción de los microorganismos y son derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja, el maíz o la fécula de patata o yuca a diferencia de los plásticos convencionales, derivados del petróleo. Los compuestos hechos de fibras naturales y biopolímeros son completamente biodegradables y se denominan “compuestos verdes” debido a sus propiedades beneficiosas para el medio ambiente (Bax, 2008).

En la elaboración de biocomposites se parte de una matriz, la cual se busca reforzar, y adopta la forma del molde donde se vierte la mezcla, es la fase continua en la que el refuerzo queda inmerso (AIMPLAS, 2019). La fase discontinua o dispersa que se agrega para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee, es el refuerzo, este aporta rigidez y resistencia y puede ser en forma de partículas o de fibras (Stupenengo, 2011). Como material de refuerzo podemos encontrar fibras de origen natural, las cuales se dividen en fibras de origen animal como la seda, y vegetal, que pueden provenir de semillas, hojas o cortezas y fibras de origen sintético como fibra de vidrio y carbono (Jacome, 2015). El uso de fibras naturales como reforzante, presenta importantes ventajas mecánicas y ambientales, tales como alta disponibilidad, baja densidad y procesamiento relativamente fácil (Echeverri *et al.*, 2011).

Posteriormente en la interface es donde se da la correcta adhesión y compatibilidad entre la matriz y el refuerzo (Navia, 2011). A lo anterior se suma el plastificante que le da flexibilidad, elasticidad y durabilidad al compuesto y el proceso de mordentado, el cual

consiste en la preparación de fibras a nivel molecular para fijar el colorante. Todos estos procesos permiten la fabricación de composites.

4.2.2 Matrices poliméricas

Los materiales compuestos de matriz polimérica son el resultado de la combinación de una matriz plástica con fibras de vidrio o de carbono o de fibras de origen natural (animal o vegetal). Su atractivo se encuentra en las propiedades que la conforman, las cuales le permiten ser competitivos con otros materiales del mercado. La fibra es la que provee la resistencia mecánica adecuada, en cambio la matriz le aporta la elasticidad, resistencia química, resistencia térmica y bajo peso.

Una de las matrices más usadas de la industria alimentaria es el almidón, debido a propiedades tales como: su baja temperatura de gelatinización y su baja tendencia a la retrogradación, el cual es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados comienzan a reasociarse en una estructura ordenada (Hoover, 2010; Sandoval *et al.*, 2007). Estas propiedades reflejan la calidad del almidón y determinan la utilización en la elaboración de alimentos u otras aplicaciones industriales (Poltec SAS, 2019). El almidón es una de las materias primas que ha recibido mucha atención para el desarrollo de biomateriales, debido a su capacidad de gelificar permite formar películas, además de ser un recurso económico de alta disponibilidad (Enriquez *et al.*, 2013).

Las variaciones que se presentan en las propiedades de los geles de almidón podrían ser originadas por diferentes factores, tales como el tamaño del gránulo de almidón (Zaidul *et al.*, 2007), el contenido de amilosa (sustancia soluble en agua) (Kaur *et al.*, 2007) y la estructura de la amilopectina (insoluble) (Liu *et al.*, 2007; Vargas *et al.*, 2016; Durán *et al.*, 2005). Los granos de almidón no son solubles en agua fría pero, cuando se incrementa la temperatura, se produce la gelatinización y así se hidratan.

El proceso de gelatinización se refiere a cuando el agua penetra en el grano de almidón y este se hincha porque absorbe y retiene el agua. Este proceso ocurre en un rango definido de temperaturas que varía dependiendo del tipo de almidón. Por lo tanto, para garantizar la calidad del almidón, es necesario conocer su capacidad para formar geles (Poltec SAS, 2019; Meneses *et al.*, 2007).

4.3 Fibras naturales

Se conoce como fibra a fragmentos, hebras o pelos, que se encuentran originalmente en la naturaleza, ya sea de tipo vegetal, mineral u inorgánica, las cuales tienen la capacidad de entrelazarse y así conformar hilos o cuerdas (RTA, 2010). Están aquellas fibras obtenidas de animales, que se encuentran en estado natural y que requieren poca adecuación para ser hiladas y utilizadas como materia prima, estas pueden ser de glándulas sedosas como es la seda o de folículos pilosos como la lana y los pelos de alpaca, caballo, cabra y camello (Perinat, 2001). También se encuentran las fibras de origen vegetal, compuestas por microfibrillas de polímeros de cadena larga, en combinación de celulosa, lignina y pectina, procedentes de la semilla como el algodón, del fruto como el coco, de los tallos como el lino y provenientes de las hojas como el fique (Ortiz, s.f). La celulosa es el componente fundamental de la pared de las células vegetales en fibras naturales y se encuentra combinada con sustancias como la lignina y hemicelulosas (Sanz, s.f), el alto contenido de celulosa le confiere a las fibras propiedades hidrofílicas lo que significa que captan agua con facilidad (Valadez, 1999).

4.3.1 Fique (*Furcraea* sp.)

Se denominan como cabuya, maguey, entre otros; ésta se exhibe principalmente en las vertientes occidentales andinas y en los valles interandinos semiáridos. En lo que corresponde a su aspecto general: las plantas adultas con tronco corto, cuando más de 30 cm; hojas verdes,

generalmente lisas por el haz y por el envés, de 150-200 cm de largo y 8-14 cm de ancho medidos alrededor del envés convexo, en todo caso, su anchura es menos de la décima parte de su longitud total; las márgenes presentan aguijones de color castaño o moreno-rojizo, encorvado hacia la parte distal de la hoja y separados por trechos inermes de 4-8 cm; en la base de la hoja o cerca de ella hay también aguijones más pequeños que pueden estar encorvados hacia la parte basal de la hoja, es decir, retro curvos: escapo floral de 7-10 mt de alto; se componen de frutos y semillas con inflorescencias que presentan cápsulas seminíferas. Esta especie se distingue por las hojas, carnosas de color verde y según la variedad los bordes pueden ser dentados, enteros, acerrado o festoneados, siendo más angostas proporcionalmente a su longitud, en relación a las otras especies de hojas cóncavas y ásperas por el envés (Artesanías de Colombia, 2014). Esta planta se compone de raíces que tienen una forma fasciculada (manejo), son terrestres y pueden llegar a medir 3 metros, el tallo es corto, desarrollado y de forma cilíndrica (Artesanías de Colombia, 2014).

4.4 Procesado de la fibra de Fique

La vida de la planta varía entre 14 y 20 años. Las hojas contienen de 3 al 4 por ciento de fibra, el desarrollo de la plantación tiene una duración de 36 meses, momento en el cual se inicia su cosecha. El proceso del fique de acuerdo a Artesanías de Colombia, se realiza de la siguiente manera: Se inicia con la cosecha o corte, se deben cortar solo hojas maduras de color verde oscuro lo más cerca del tallo, entre la operación de corte y la siguiente operación que es el desfibrado no deben pasar más de 15 horas.

Como paso a seguir se eliminan las espinas que están en las orillas de la hoja o penca y se cargan para llevarlas a la zona donde está la desfibradora para extraer las fibras. Al desfibrar se van haciendo manojos entre 10 y 12 hojas para facilitar las labores de transporte, fermentado, sacudido, lavado y secado.

Una de las fases que es fundamental para la obtención de fibra de alta calidad es la fase de fermentación. Se inicia sacudiendo el material para soltar el ripio o chanda y se deja al sereno, el cual contribuye a que la cabuya tome mayor blancura. Transcurrida una noche se le hace una sacudida para eliminar residuos. Las fibras resultantes se amarran en manillas y cuando se tiene una buena cantidad se llevan a la zona de lavado y secado. La fibra fermentada pasa al tanque de lavado, se le adiciona agua y se aprieta hasta el punto en que la fibra quede completamente seca de agua. Se hace una segunda sacudida y se pasa al secado. El residuo líquido se puede utilizar como abono para los cultivos de la finca. La fibra se debe secar sobre alambre en secaderos aéreos cubiertos para que se seque más rápido evitando colocarla en el suelo, pues se puede afectar por el moho, negrearse o tomar tonalidades no deseadas y es difícil alcanzar el grado requerido de humedad. Por último se pone a secar al sol en los tendedores durante varios días, entre más tiempo pasa a la intemperie más blanquea la fibra. En algunas ocasiones para modificar o lograr nuevas tonalidades y colores se emplean tinturados de origen vegetal (hojas, tallos, flores), edáfico (suelos, minerales), animal (sangre, jugos gástricos) o sintéticos (anilinas, varios colorantes) (Artesanías de Colombia, 2014).

4.4.1 Proceso de hilado en la empresa FIQUEXPORT SAS

FIQUEXPORT SAS, es una empresa que se encuentra ubicada en la Cr 42 # 27-127 Villa Nueva, Pasto, donde se utiliza la fibra de fique (*Furcraea sp.*) o también llamada cabuya como materia prima para destinarla a la elaboración de carretos de hilo y su posterior comercialización. Los manojos de esta fibra pasan por un proceso inicial de preparación que incluye fases de limpieza, estiramiento y desenredo para finalmente alimentar a las máquinas hiladoras, en las cuales la cinta continua de fique se va enrollando para la formación de los carretos de hilo de dos, tres y cuatro hebras.

La maquinaria que se describe a continuación es la generalmente utilizada para realizar el proceso de hilado en la empresa FIQUEXPORT SAS, dedicada al procesamiento de fibras duras, cordelería:

Recepción de la materia prima: Se desatan los fardos de Cabuya o Fique seca, se los organiza, se los lubrica con aceites naturales con el ánimo de volver la cabuya más dócil y mitigar el factor de polvo o polvillo que es inherente a la Cabuya en sí (Tokpsico, 2016).

Máquina peinadora: Se hacen manojos de cabuya; el operario las introduce en una máquina que consta de un tambor con aspas, se hace un proceso preliminar de limpieza y se organiza los atados, todos estos atados se pasan a la segunda máquina (Tokpsico, 2016)

Máquina transportadora: Se van montando en la banda transportadora, en esta máquina lo que se hace es darle un estiramiento inicial a la cabuya y limpiarla de algunas impurezas que son polvillos, nudos, enredos e incluso partes del proceso anterior, cuando no viene completamente limpia (Tokpsico, 2016).

Gril n°2 extendedora: Es una continuación de la máquina transportadora, además de que se hace una cinta interrumpida de cabuya o de fibra, esta máquina es un poco más rápida que la anterior y posee un cilindro de diámetro grande y con el que se van a organizar los mismos pardos de una manera mucho más constante. Sale la fibra limpia, de un calibre más constante y de la misma forma se hacen los pardos o bultos de 85 kilos aproximadamente. En esta máquina igualmente se le da una o dos pasadas a todos los bultos y la fibra que sale o las trenzas que salen son las que siguen a las máquinas hiladoras (Tokpsico, 2016).

Máquina acordonadora: Es muy importante que la cabuya quede muy limpia, libre de nudos y sobre todo que la cinta que va saliendo de esta máquina sea constante en su diámetro y en su consistencia para así obtener finalmente las fibras o las hebras. En la acordonadora se reciben la cinta de cabuya e igualmente se estiran con el mismo sistema de pines o dientes en

banda transportadora y se estiran, en este paso la fibra ya es de un calibre constante e ininterrumpido (Tokpsico, 2016).

Máquina Hiladoras: Todo el proceso de la preparación de la cinta se hace en función de las hiladoras, porque finalmente son las máquinas que van a recibir toda la cinta y dependiendo de la calidad y la limpieza saldrá la misma calidad del hilo. En esta máquina se calcula el calibre del hilo que va a salir, son 24 cornetas que reciben los bultos de fibra o de cinta e ingresan por la parte posterior de la hiladora y darán las 24 hebras (Tokpsico, 2016).

Máquina retorcedora: Estos carretos que ya están llenos con el hilo, pasan a la retorcedora, esta máquina une 3 o 4 hilos en un solo para finalmente obtener el cordel. Se van retorciendo los tres hilos o tres hebras en una trenza única (Tokpsico, 2016).

Tundidora o peluquiadora: En la siguiente máquina se colocan los carretos, tiene dos puestos la máquina, inicia a cortar la mayoría de los filamentos, hebras o hilos que quedan en el cordel para darle una presentación óptima. El cordel pasa por un sistema de cuchillas y de tensores, gira en su propio eje y va pasando al mismo tiempo en que las cuchillas van cortando (Tokpsico, 2016).

Enconadora: Se dispone el cordel en estas enconadoras para finalmente formar con un ovillo de un hilo y medio. Generando empaques de 25 unidades cada uno (bultos) listos para ser comercializados y entregados (Tokpsico, 2016).

Todas estas máquinas producen desperdicios, los cuales están calculados entre 10 y un 11 % el polvillo o motas o residuos de basura.

4.5 Residuos Industriales

4.5.1 El bagazo

Es un residuo agroindustrial proveniente del proceso de desfibrado de la fibra de Fique, el cual se conforma de una pulpa residual y jugos. Igualmente, el bagazo es considerado como

una fuente de biomasa disponible para ser utilizada como sustrato en producción de biogás (Guzmán, 2014).

4.5.2 La estopa

Hace parte de las fibrillas de fique resultantes del proceso de limpieza, desenredo, estiramiento y formación de carretos de hilo que fabrica la empresa FIQUEEXPORT SAS. Del proceso de hilado que realiza esta empresa se desprenden tres tipos de residuos como lo son: la fibra larga, fibra corta y polvillo, todos estos provenientes de distinta maquinaria que usa la empresa (Paz, 2020).

4.5.3 Residuos del proceso de desfibrado de la fibra

Como consecuencia del proceso de desfibrado se encuentra un desperdicio del 96% de la penca ya que la fibra larga constituye solo el 4% de ella, por lo tanto, no se considera el resto de subproductos como jugo, biomasa y fibra corta. El alto volumen de estos residuos permanecen en el suelo causando el deterioro de la capa vegetativa del suelo. Por otra parte, la fibra suele ser lavada en ríos o fuentes hídricas cercanas causando contaminación de los recursos hídricos (Duque, 2011).

Si bien se conoce que en algunas partes los residuos son tratados para reducir el impacto negativo que estos generan al momento de su emisión, vertimiento o disposición, con el objetivo de poder convertirlos en productos útiles, que posteriormente sean comercializados (Cury *et al.*, 2017), solo una pequeña parte es realmente aprovechada. Según un análisis realizado al uso dado a los residuos que son obtenidos de distintos sectores agroindustriales, la industria del fique aprovecha tan solo el 2 % de la biomasa producida (Agrocadenas, 2005; Saval, 2012).

5. ANTECEDENTES

Según el químico Francés Antoine Lavoisier la materia no se crea ni se destruye, de acuerdo a esto las realizaciones de cualquier tipo de productos y sus transformaciones, generan desechos (Lozoya, 2007). Es importante mencionar que el diseño industrial, al momento de dar soluciones a los problemas, también los genera, pero en ocasiones de manera inconsciente (Vázquez, 2011).

Ahora bien para entrar en contexto acerca de la fibra tratada en este proyecto, es importante indagar acerca de las diferentes aplicaciones que la fibra de fique ha tenido a lo largo de los años; por ejemplo, el diseñador industrial Wellington España, egresado de la Universidad de Nariño, estudió nuevas posibilidades de utilización y manejo de la fibra de fique para el diseño y la elaboración de productos dentro del diseño industrial en el cual se fabricó un nuevo material denominado Aglofibra que se proyectó, teniendo en cuenta sus propiedades, al desarrollo y elaboración de productos para espacios interiores como el de un sistema sinérgico de cielo raso para viviendas de interés social, en el que se aglutino la pulpa de fique con harina de trigo para lograr una excelente aglomeración, buena resistencia a la tensión y buena flexibilidad. (España, 2002).

Por otro lado, en la guía ambiental del subsector fiquero, segunda edición, del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en colaboración con CADEFIQUE COLOMBIA, establecieron una tabla donde se esquematiza la industrialización de los productos, subproductos y los usos potenciales del fique, en la cual la fibra larga es utilizada en empaques, cordelería, artesanías, agromantos, telas, marroquinería; la fibra corta o estopa es empleado para la elaboración de papel, fibroreforzados, aglomerados, relleno de colchones, aislantes térmicos, ecomusgo y empaques termoformados. También están los residuos sólidos

que hacen parte del bagazo y que actualmente es usado como abono orgánico, concentrado para animales y el cultivo de hongos comestibles (CADEFIQUE, 2006).

Así mismo sobresale la investigación preliminar que se realizó en la Universidad del Cauca por parte de estudiantes y docentes ingenieros agroindustriales, en el que se emplearon fibras cortas de fique como material de refuerzo de una matriz termoplástica de almidón nativo de yuca, usando el diseño experimental para analizar las propiedades mecánicas de esfuerzo y elongación, de esta forma se concluyó que la fuerza aumentó desde 7.48 N/cm^2 (Newton por centímetro cuadrado, unidad de presión) a 11.93 N/cm^2 , indicando que la matriz de almidón termoplástico (TPS) de yuca es compatible con fibras cortas de fique, lo cual permite soportar una carga relativamente alta aunque la elongación disminuyó con el incremento de la fibra, de 6.92% a 1.12%, estos resultados demostraron que los materiales podrían ser empleados para el desarrollo de empaques biodegradables. (Luna *et al.*, 2009).

Continuando con el tema de empaques, desde el departamento de Ingeniería de la Universidad Católica del Perú se fabricaron plásticos biodegradables y compostables a partir de recursos naturales como tubérculos y semillas y para su procesamiento se usaron técnicas de plásticos convencionales como extrusión y moldeo por compresión. Finalmente se obtuvieron dos tipos de plásticos, laminas y filmes, debido a la rigidez de las láminas fueron idóneas para la fabricación de tableros o paneles y en el caso de los filmes o películas delgadas su elasticidad permitió ser usadas en bolsas o embalajes. Actualmente este trabajo concluyó a nivel de laboratorio, la siguiente etapa es el desarrollo a una escala piloto (García, 2019).

Igualmente, desde el Centro de Investigaciones de Polímeros Avanzados (CIPA) en Chile se desarrollaron bandejas absorbentes y biodegradables para la industria avícola a partir de almidón extraído del descarte de la producción de papa. Esta investigación busca solucionar problemas que afectan la comercialización de carne como son la pérdida de peso por goteo y

la proliferación bacteriana de patógenos, a través de la fabricación de bandejas absorbentes espumadas con propiedades mecánicas y de barrera al agua mejoradas lo cual minimizará la proliferación microbiana y permitirá absorber olores no deseados (The food tech, s.f).

Por otro lado existe una innovadora solución de empaques producida a partir de almidón de yuca creado por el Grupo de Materiales y Manufactura de los departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química de Alimentos de la Universidad de los Andes. Luego de varios años de pruebas se logró la producción de materias primas, películas y bolsas compostables sin propiedades toxicas, que se disuelven en agua en cuestión de segundos, sin afectar las fuentes de agua. Posteriormente se realizaron pruebas a nivel industrial lo que dio origen a la empresa Ecobioplast, empresa Colombiana de bioplasticos (Uniandes, 2021).

También en Colombia investigadores de la Universidad Pedagógica y Tecnológica elaboraron biopelículas a partir de almidón residual de papa anclado a sustancias fotoactivas capaces de disminuir los procesos de oxidación en muestras de carne bovina. Se evaluaron las propiedades físico-químicas, mecánicas y de eficacia fotoactiva concluyendo que la modificación química del almidón, para su posterior unión a moléculas fotoactivas, representa una alternativa en la industria de empaques alimentarios, dada su capacidad de protección de productos, que sean sensibles a la acción de la luz. El empleo de estas biopelículas demostró la reducción de procesos oxidativos al interior del empaque además de presentar mejoras en propiedades fisicoquímicas y mecánicas con respecto a otro tipo de empaques biodegradables (Niño *et al.*, 2018).

Así mismo en la Universidad del Rosario se elaboró una alternativa sostenible de empaques de vino como modelo de negocio, en la cual tenía la intención de brindar una solución a la escasez de empaque al de tal para los turistas de Chile. Este proceso se llevó a cabo mediante un empaque que cumple con las necesidades encontradas, en la búsqueda del material

adecuado surgieron 3 materiales: el bioplástico de papa, la fibra de plátano y el bioplástico de crustáceos, en seguida se estudiaron las opciones de diseño y se llegó a la conclusión de que el mejor material era el bioplástico de papa, siendo este 100% impermeable, además pensando en los riesgos salubres y del medio ambiente el mejor material es el bioplástico de papa, porque proviene de unos recursos renovables, permite ser compostable y a su vez reciclable, incinerable y no contiene CO₂ adicional (Andrade & Carvajal, 2017).

Por otro lado, en lo que respecta al grupo de investigación en tecnologías para la manufactura GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, realizaron una interacción interfacial del compuesto LDPE/AL reforzado con fibra de fique, en el cual el objetivo de este estudio es conocer la calidad de la adherencia de la fibra de fique en una matriz de LDPE/AL (polímero termoplástico derivado del petróleo) a partir del ensayo de pull-Out (ensayo semi-destructivo para estimar la resistencia a compresión), usando como parámetro de respuesta el esfuerzo cortante producido entre los dos componentes de la materia, concluyendo entonces que se presenta una reducción de las propiedades a tensión, debido a que se afectaba la calidez de la interfaz fibra-matriz. Por otra parte, cabe resaltar que los compuestos mantuvieron una tendencia a incrementar las propiedades de tensión con el aumento de la fibra de fique en el compuesto (Hidalgo *et al.*, 2010).

Además, cabe resaltar que en el área de Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, se menciona un reforzamiento de plástico con fibras de fique, estudiando las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y térmicas de fibras naturales de fique, en el que las fibras fueron sometidas a modificaciones superficiales a partir de tratamientos químicos que convencionalmente son empleados para promover la compatibilidad de las fibras naturales (hidrofibras) con matrices de naturaleza polimérica hidrofóbicas (la hidrofobicidad ocurre cuando la molécula en cuestión no es capaz de interactuar con las moléculas de agua), esto

se llevó a cabo mediante un proceso de alcalinización NaOH (hidróxido de sodio), generando como resultado que las fibras de fique son susceptibles de ser utilizadas como refuerzo de matrices de naturaleza polimérica, en particular el polietileno empleando los tratamientos superficiales planteados anteriormente (Vélez *et al.*, 2014).

De igual manera en la escuela de ingeniería de alimentos de la Universidad del Valle, en colaboración con el programa de ingeniería agroindustrial de la Universidad de San Buenaventura, evaluaron el efecto de las condiciones del proceso de obtención de biocompuestos elaborados por la técnica de termo-compresión usando harina de yuca, fibra de fique y glicerol, se analizó el agente de expansión (sustancia química que hace que el plástico se expanda), la presión de compresión y humedad relativa sobre la densidad, esfuerzo de flexión y absorción de vapor de agua. Los resultados de estas propiedades indicaron que las condiciones más favorables para la obtención de los bioplásticos por termo-compresión con harina de yuca, fueron 0MPa (pascal-unidad de medida) de presión y 0% de contenido de sodio (agente de expansión), definiendo así que bajo las condiciones anteriores es posible tener biocompuestos para evaluar futuras aplicaciones en el campo alimentario y no alimentario (Navia *et al.*, 2015).

Del mismo modo desde la facultad de ingeniería agroindustrial de la Universidad de Nariño se realizó un estudio del estado del arte sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del beneficio del fique donde se destaca el uso de la fibra de fique como refuerzo en matriz polimérica que además de atribuir características especiales, permite desligarse de los productos derivados del petróleo (polipropileno) y así disminuir la producción de residuos contaminantes (Delgado, 2018).

Igualmente en la escuela de ingeniería de alimentos de la Universidad del Valle, se desarrolló un material bioplástico semirrígido a partir de harina nativa de yuca de 4

variedades y fibra de fique, procesado por la técnica de moldeo por compresión, donde se evaluaron diferentes concentraciones de fibra, harina y plastificante (glicerol), para obtener características mecánicas (tensión, flexión, impacto), térmicas (calorimetría) y de absorción de humedad adecuadas; como resultado se obtuvo que según la variedad de la yuca cambiará el valor de las propiedades analizadas, no obstante todas las muestras estudiadas presentaron valores más altos en propiedades mecánicas comparados con el patrón de poliestireno expandido (Navia, 2011).

De acuerdo a la revisión bibliográfica se han realizado diferentes investigaciones acerca de los productos de innovación realizados a partir de los materiales mencionados anteriormente, como es el caso del grupo del centro Catalán del plástico, de la Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona y la investigadora Farayde Fakhouri, fueron los creadores de un envase biodegradable, que a su vez es comestible y de origen natural para el sector alimentario, este producto se ha elaborado a partir de materias primas vegetales con el objetivo de garantizar la protección de los alimentos, en este caso usaron las fresas; en la cual el envase sirve como protección de la fruta ante los hongos, conservando así su aspecto original durante más tiempo (Generalidad de Catalunya, s.f.).

En ese sentido, también cabe resaltar la innovación de la marca Biozoyg, creadores de una amplia gama de productos orgánicos sostenibles hechos de materias primas renovables y recicladas. Para fabricar los productos se usa la caña de azúcar, el almidón de maíz, la soja y la cáscara de arroz. Esta empresa también elabora tazas biodegradables para bebidas calientes a partir de fibras de bambú, material ligeramente elástico que amortigua bien los golpes. Además, estas tazas tienen una huella de CO₂ menor a las del plástico y no contienen Bisfenol (2,2-bis (4-hidroxifenil) propano o bis-fenil A (BPA), compuesto químico utilizado para hacer plásticos duros (Materiales ecológicos, s.f.).

Finalmente, se encuentra Novamont, la cual es otra de las empresas que promueve un modelo de bioeconomía, basado en el uso eficiente de los recursos renovables, a partir de una innovadora familia de bioplásticos biodegradables y compostables. Esta empresa italiana es la creadora del material MATER-BI, el cual es obtenido a partir de componentes vegetales como el almidón de maíz y polímeros biodegradables obtenidos a partir de materias primas renovables, este bioplástico se presenta en forma de gránulos o pellets y pueden ser procesados de acuerdo a las tecnologías de tratamiento comunes. Es un bioplástico versátil e innovador con el que se realizan soluciones y productos ambientales sostenibles como lo son platos, cubiertos y vasos que gracias a sus características de biodegradabilidad y compostabilidad permiten optimizar la gestión de los residuos orgánicos, reducir el impacto ambiental y contribuir con todo el ciclo de producción-consumo-eliminación de un producto (Novamont S.p.A, s.f.).

6. METODOLOGÍA

El proyecto tiene un enfoque hipotético-deductivo el cual plantea una hipótesis de trabajo donde el desarrollo de un nuevo producto conformado por un material composite promoverá en un futuro la diversificación de los productos con proyección comercial de los residuos del proceso de hilado de la fibra de fique (*Furcraea sp.*) de la empresa FIQUEXPORT SAS de la Ciudad de Pasto; proporcionando una solución al problema de desaprovechamiento de los residuos de fique.

La metodología se dividirá en 3 etapas principales, que comprenden, el reconocimiento, proyección y materialización de los cuales se desglosan algunas actividades específicas. Igualmente, este estudio tomará algunos ítems de la metodología proyectual de Bruno Munari, proceso enfatizando en la resolución de problemas, siguiendo unas etapas para conseguir la elaboración acertada del mismo, cumpliendo así con la finalidad del proyecto.

Así mismo se tuvo en cuenta el proceso de iteración en cada una de las fases, lo cual nos permitió volver a fases anteriores las veces que sean necesarias para obtener el mejor resultado.

6.1 Reconocimiento:

En esta fase se incluyeron aspectos relacionados con la definición del problema, los elementos que este posee (causas y consecuencias), la recopilación de información a través de distintas fuentes académicas y la apropiación de los datos más relevantes.

6.1.1 Definición del problema:

El problema abordado en este proyecto trató el desperdicio de 2 toneladas mensuales de varios tipos de residuos, tales como: estopa o fibra corta y polvillo, los cuales se generan en la empresa Fiquexport SAS de la Ciudad de Pasto. En esta visita guiada a la empresa se habló con el gerente de la fábrica y algunos trabajadores, de igual manera, se realizó un recorrido por las instalaciones, dándonos a conocer el proceso por el cuál pasa la fibra, maquinaria requerida y el resultado final de todo el proceso. Gracias a esto se pudo obtener un registro fotográfico del alto volumen de residuos que la maquinaria generaba.

6.1.2 Causas y Consecuencias:

Se deduce que la empresa desconoce los beneficios, propiedades y características que poseen los residuos y no menos importante el valor agregado que se le podría dar a estos desechos que provienen del proceso de fabricación de carretos de hilo en la empresa. Por tal razón optan por arrojar los residuos de la fibra de fique, provocando contaminación ambiental (Fig. 2).

De igual manera se buscó información por medio de fuentes fiables como artículos científicos, tesis realizadas de proyectos similares, donde se buscaba el aprovechamiento de

residuos y cómo era el proceso de transformación de los mismos. Adicionalmente se investigó sobre los materiales que se necesitaban para poder realizar el nuevo material compuesto, qué equipos utilizaban, qué características fisicoquímicas y mecánicas que se necesitan analizar en el nuevo material para poder fabricar y desarrollar el material y sus posibles aplicaciones. Todo esto se logró mediante la lectura de artículos, capacitaciones con expertos y experimentación propia, se recopiló entonces la información más acertada.



Figura 2. Residuos generados en la empresa

Fuente: Elaboración propia

6.2 Proyección:

En esta fase se definieron aspectos como los siguientes:

6.2.1 Reto de diseño:

Desde el diseño, ¿Cómo podríamos aprovechar los residuos de la fibra de fique, provenientes de la empresa Fiquexport sas?.

6.2.2 Propuesta Creativa:

A partir del material bibliográfico revisado, la experimentación propia y algunas capacitaciones con expertos se proyectó el desarrollo de un material compuesto o composite en forma de láminas a partir de la mezcla de fibra corta de fique con diferentes aglutinantes como almidones.

6.3 Materialización:

6.3.1 Experimentación:

6.3.1.1 Obtención de la muestra a usar:

Se obtuvieron los residuos de la fibra de fique, material que incluye polvillo y fibra corta, directamente de la empresa FIQUEEXPORT SAS, ubicada al nor oriente de la ciudad de San de Juan de Pasto, Nariño.

6.3.1.2 Preparación y caracterización de la materia prima:

Similar a lo presentado por Achinte *et al.* (2018) con fibras de fique, se realizó un tratamiento superficial de alcalinización, el cual consistió en sumergir la fibra corta de fique en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 2% (peso/volumen) durante una hora a temperatura ambiente (Fig. 3a). Después se procedió a lavar la fibra con agua y ácido acético hasta conseguir un pH neutro en el agua de enjuague (Fig. 3b) por último se secó el material a temperatura ambiente y se sometió a análisis químico y mecánico. Lo anterior se realizó con el objetivo de limpiar la fibra y así mejorar la adherencia entre la interfaz que se genera entre matriz-fibra.

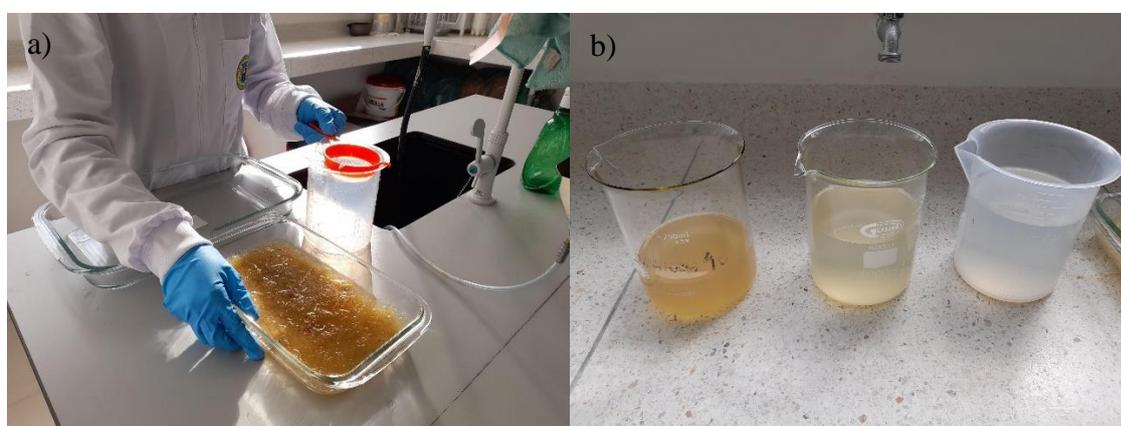


Figura 3. a) Tratamiento a la fibra b) Agua de enjuague con pH neutro

Fuente: Elaboración propia.

Se analizaron componentes químicos estructurales como: lignina, celulosa y hemicelulosa en los filamentos de fibra natural y tratada para determinar si el tratamiento alcalino a la fibra

removió parte de estos compuestos, lo anterior se llevó a cabo en el laboratorio de bromatología y abonos orgánicos de la Universidad de Nariño.

Por otro lado, se realizó un montaje para determinar la fuerza total que soporta la fibra hasta el momento de su ruptura, variable denominada tensión máxima (N). Para ello se escogieron cinco muestras con y sin tratamiento midiendo el diámetro y longitud de cada una para posteriormente amarrar uno de los extremos a un soporte fijo y en el otro extremo se ubicaron masas en forma de cilindros para ejercer presión sobre la fibra y provocar su ruptura (Fig. 4). Lo anterior con el fin de conocer si el tratamiento a la fibra influye en esta propiedad mecánica.



Figura 4. a) Montaje prueba mecánica a la fibra de fique
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.3 Elaboración de las láminas:

Se elaboró un composite a partir de polímeros de origen natural como el almidón de papa y yuca, los cuales representan la matriz del material compuesto, junto con la fibra corta de fique como refuerzo, la glicerina como agente plastificante, el agua como solvente y el vinagre o ácido acético como conservante. Posteriormente todos estos elementos se mezclaron en un recipiente y se sometieron a fuego medio hasta alcanzar una masa

homogénea, sin grumos y que permita esparcir fácilmente en el molde designado (Fig. 5 a y b). El secado se hizo de dos formas, la primera fue a temperatura ambiente, en un lugar fresco y con sombra. La segunda forma de secado fue en un horno marca MASER, a una temperatura de 25°C, entre 12 y 15 horas en promedio según el tamaño del molde, lo cual permite un secado más eficiente y homogéneo, esta fase se realizó en los laboratorios de especializados de la Universidad de Nariño (Fig. 5c). Las proporciones para cada componente variaron de acuerdo al experimento, teniendo en cuenta el tipo de almidón y las dimensiones de los moldes. Para cada prueba se realizaron procesos similares donde se usó el método de prueba y error hasta encontrar la proporción adecuada para elaborar el material composite laminado, con características aptas para su transformación. Por otro lado, se hizo uso de colorantes alimenticios y algunos naturales para generar coloración en las láminas.

Adicional a este proceso se realizaron capacitaciones con expertos en el tema donde se adquirieron conceptos importantes para el perfeccionamiento y obtención de las láminas finales.



Figura 5. a) y b) Preparación de la mezcla c) Secado de las láminas en horno
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.4 Caracterización del material composite:

A partir de las láminas realizadas se analizó una prueba de tensión para conseguir una curva de esfuerzo (Megapascal) vs deformación (milímetros), un análisis térmico simultáneo de

termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (TGA/DSC) y algunos ensayos de biodegradabilidad y solubilidad. Además se realizó una exploración del material por medio de un test sensorial y pruebas para determinar la resistencia de las láminas frente a la costura, doblado y ensamble, pruebas de calor como corte láser, selladora y termoformado y ensayos ante la generación de texturas con molde. Para cada una de las pruebas y ensayos se manejó la siguiente nomenclatura: almidón de papa (AP), almidón de yuca (AY), almidón de papa fibroreforzado (APF) y almidón de yuca fibroreforzado (AYF).

6.3.1.4.1 Pruebas mecánicas

La prueba fue realizada en probetas rectangulares de 2,5cm de ancho x 5cm de largo de acuerdo a la norma ASTM D882, método utilizado para plásticos en forma de láminas delgadas, incluyendo películas de menos de 1,0 mm de grosor. Con una máquina universal Tinius Olsen, a una velocidad de 12,5 mm/min en la escuela de ingeniería de materiales de la Universidad del Valle en Santiago de Cali-Colombia se realizó esta prueba, la cual se basa en deformar la probeta a lo largo de su eje con una velocidad constante, empleando una fuerza definida, con el propósito de romperla y poder verificar su resistencia (Fig. 6a). Se registró el esfuerzo que indica la carga soportada por el material dado en Megapascal (MPa) y deformación que mide el aumento de longitud dada en milímetros (mm). Se analizaron 2 probetas de cada material (Fig. 6b).



Figura 6. a) Montaje prueba mecánica b) Probetas de películas
Fuente: Esta investigación

6.3.1.4.2 Técnicas de análisis térmico

Dentro de este grupo de técnicas se encuentran: el análisis Termogravimétrico (TGA) el cual mide los cambios en la masa con respecto al cambio de temperatura y la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde se registra la variación del flujo de calor en función de la temperatura. Este análisis se realizó en el laboratorio de catálisis de la Universidad de Nariño, ambos procedimientos se realizaron de forma simultánea en un equipo SDT Q600 en un rango de temperatura desde 30°C hasta 300°C a una rampa de calentamiento de 10°C/min, bajo atmósfera de nitrógeno. AP con un tamaño de 16.57mg de muestra, AY con 14.53mg, APF: 21.31mg y AYP: 14.65mg. Lo anterior basado en el proceso realizado por Luna *et al.* (2009).

6.3.1.4.3 Prueba de solubilidad

La prueba se hizo en muestras de 2 x 4 cm de las cuatro variaciones del material, con los siguientes espesores en: AP: 0.24mm, AY: 0.24mm, APF: 0.49mm y AYP: 0.47mm, donde cada una se introdujo en frascos de vidrio con 200 ml de agua fría y se las agitó para que se remojaran adecuadamente (Fig. 7). Se repitió el mismo proceso con agua caliente hasta punto de ebullición (55 a 61°C aprox). La prueba se realizó para conocer cómo interactúa el material con el agua y si son solubles en ella, se registraron los cambios obtenidos cada 20 días durante dos meses. Este proceso se realizó en el Laboratorio de Biogen de la Universidad de Nariño siguiendo la metodología propuesta por Lugae. (2020).

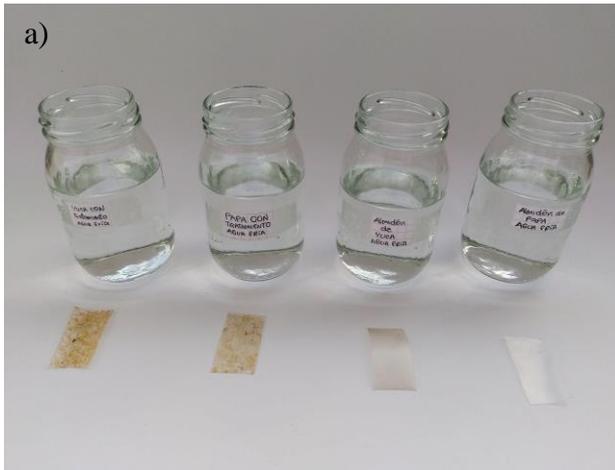


Figura 7. a) Prueba de solubilidad

Fuente: Elaboración Propia

6.3.1.4.4 Prueba de Biodegradabilidad

La prueba se hizo en beakers de 1000 ml, los cuales, se llenaron con tierra abonada mezclada con cascarilla de arroz. Sobre la superficie se depositaron las muestras de 2x4 cm con los siguientes espesores: AP: 0.37mm, AY: 0.16mm, APF: 0.36mm y AYF: 0.35mm y posteriormente se cubrieron con más tierra (Fig. 8). Cada semana los beakers eran regados con agua para mantener la tierra húmeda. Durante el desarrollo de la prueba se realizó el seguimiento de la descomposición de las muestras cada 20 días durante un periodo de dos meses por medio del registro fotográfico y la descripción de los cambios que presentó la lámina.

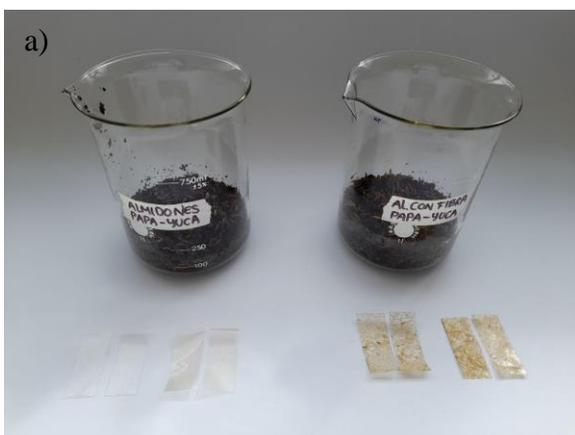


Figura 8. a) Prueba de biodegradabilidad

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.4.5 Exploración del material

En primera instancia se realizó una caracterización sensorial, esta consiste en tomar el material, observarlo, tocarlo e interactuar con él para determinar los diferentes aspectos estéticos y formales que posee cada muestra. Se analizaron términos contrarios como: duro o blando, suave o rugoso, mate o brillante, frío o cálido, opaco o translúcido, entre otras.

Por otra parte, se realizaron pruebas para determinar la resistencia de las láminas frente a la costura, doblado y ensamble, pruebas de calor como corte láser, selladora y termoformado y ensayos ante la generación de texturas con molde. El corte por láser es una técnica de fabricación digital que consiste en cortar o grabar un material mediante láser (Sculpteo, s.f).

Por otra parte, la selladora es una máquina que termosella los materiales generalmente plásticos para conservar los productos frescos y puede funcionar de manera manual o automática (Aersa, s.f). Para generar texturas en las láminas se optó por cortar rectángulos de acrílico con distintos patrones para posteriormente verter la mezcla del composite encima de estos moldes y que al secarse adopten la forma de este.

Y por último, el proceso de termoformado consiste en el modelado de láminas a través de la aplicación de calor, en el cual, la lámina toma la forma de un molde por medio de succión (Aristegui Maquinaria, 2019).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este trabajo se logró desarrollar un material compuesto en forma de láminas formado por una matriz de almidón y fibras de fique como refuerzo con características de flexibilidad y dureza según el tipo de almidón. Tal material se puede transformar a través de costura, doblado, ensamble y pruebas de calor como corte laser, a continuación, se presentará todo el proceso que se llevó a cabo:

7. 1 Caracterización de la materia prima

De los resultados del contenido de componentes estructurales tanto en fibra natural como en alcalinizada fue posible afirmar que el tratamiento alcalino realizado redujo el porcentaje de los mismos, según como se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido de componentes estructurales de la fibra.

	Componente		
	Lignina (g/100g)	Celulosa (g/100g)	Hemicelulosa (g/100g)
Fibra de fique natural	13,9	54,3	14,0
Fibra de fique alcalinizada	12,7	64,9	7,67

*Base parcialmente seca

Fuente: Esta investigación

La lignina, la celulosa y la hemicelulosa son los tres biopolímeros fundamentales más abundantes que constituyen y forman las plantas. La lignina, es un componente que refuerza y proporciona rigidez a los tejidos vegetales además actúa como adhesivo de los otros dos, aportando a las plantas su integridad estructural (Gutiérrez *et al*, 2020; Abengoa, 2016). Este adhesivo natural dificulta la relación física y química entre el almidón y la fibra, por esa razón es necesario realizar tratamientos químicos para remover porcentaje de lignina y con esto aumentar sus propiedades adhesivas y hacer las fibras más aptas para su uso como material de refuerzo en composites (Hurtado, 2017).

Con el pretratamiento se consiguió remover 1.2 g/100g de lignina y 6.33 g/100g de hemicelulosa (Tabla 2) y otros componentes que se consideran impurezas de la superficie como pectinas y ceras, provocando que la superficie de los filamentos de fibra sea áspera y rugosa aumentando el número de puntos de adhesión, mejorando así la interacción entre la matriz (almidón) y el refuerzo (fibra). Por otro lado, en la tabla 2 también se registra que el

tratamiento incrementó la cantidad de celulosa amorfa, es decir, cambia la estructura de la celulosa, la cual adquiere una morfología más compacta y por lo tanto las fibras absorben menos humedad, disminuyendo la capacidad hidrofílica (capta agua con facilidad) de la fibra, lo anterior según lo reportado por Mina (2012).

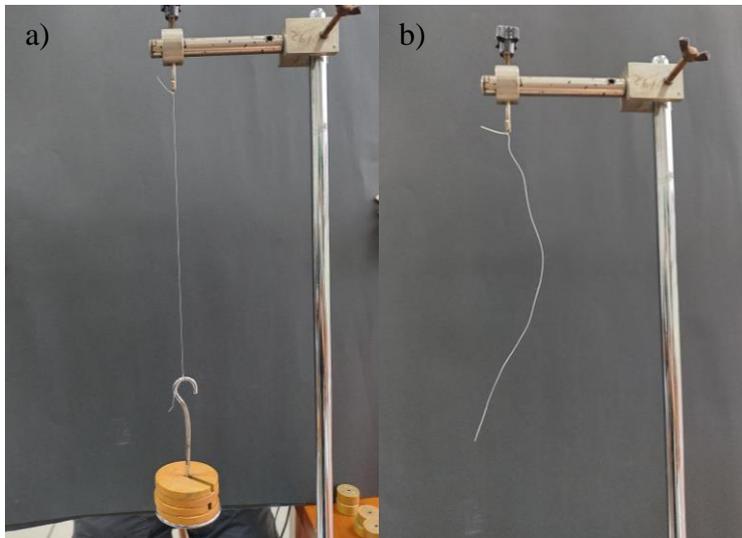


Figura 9. a) Montaje prueba mecánica de fibra en laboratorio de la Universidad de Nariño b) Muestra de fibra rota

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 9, se puede observar que el tratamiento con NaOH no repercute positivamente en el desempeño mecánico de la fibra. En primera instancia el tratamiento provocó una disminución en el diámetro lo que confirmó la remoción de sustancias como la hemicelulosa y parte de lignina (Muñoz *et al*, 2014) también se observó que las fibras eran irregulares, presentaban imperfecciones y variabilidad en el espesor a lo largo de su longitud. Estaban dañadas y débiles, lo anterior puede deberse a que los filamentos estuvieron un tiempo prolongado en la solución de hidróxido de sodio o la concentración de la misma fue elevada (Enciso *et al*, 2017). Según la figura 10, la fibra nativa resistió un peso de 3000g en comparación con la fibra alcalinizada que solo resistió alrededor de 2200g aproximadamente.

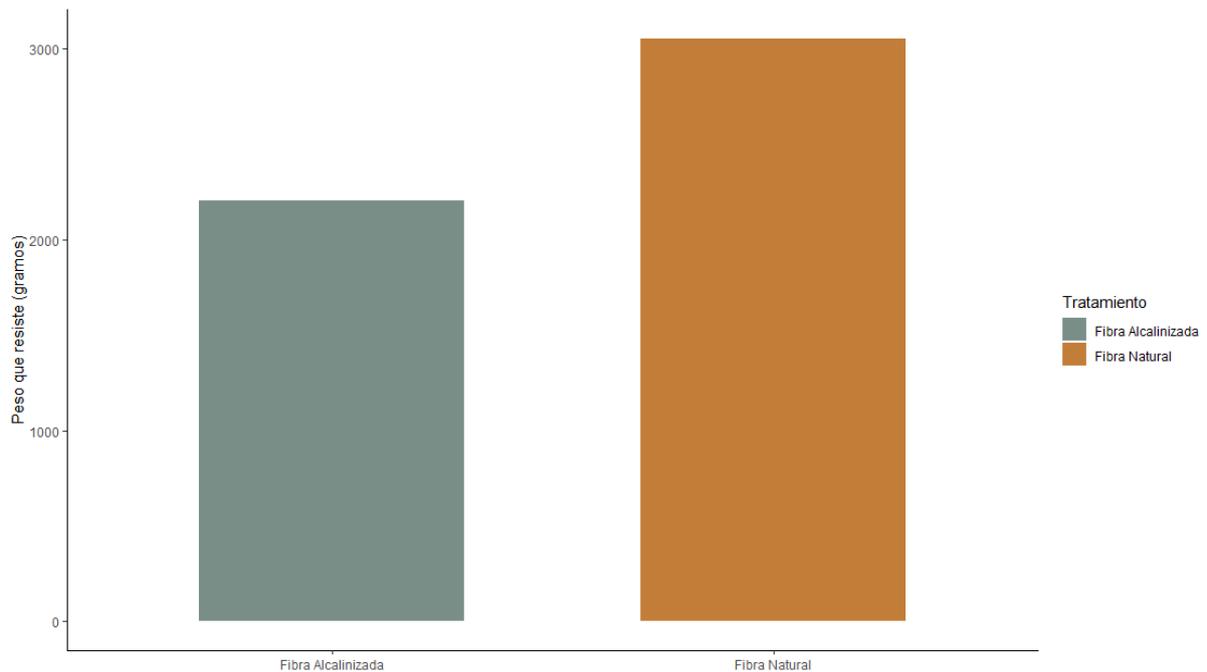


Figura 10. Gráfica del peso que resiste las muestras de fibra natural y fibra alcalinizada

Fuente: Elaboración propia

7.2 Caracterización del material composite:

7.2.1 Pruebas mecánicas

El comportamiento a tensión de cada una de las variaciones se muestra en la figura 11, en la cual es posible observar que AY presenta una mayor resistencia a tensión correspondiente a 4,27 Mpa y una deformación de 0,25 mm aproximadamente. Caso contrario se observó en AP donde se registró un incremento en la deformación correspondiente a 0,46 mm y una disminución en la resistencia a tensión que fue de 2,19 Mpa, estos resultados se deben a que el almidón de papa presenta mayor concentración de glicerina haciendo el material más flexible y menos resistente. Los anteriores resultados fueron coincidentes con los de Bertuzzi *et al* (2012), Valderrama *et al* (2014) y Ruiz (2006).

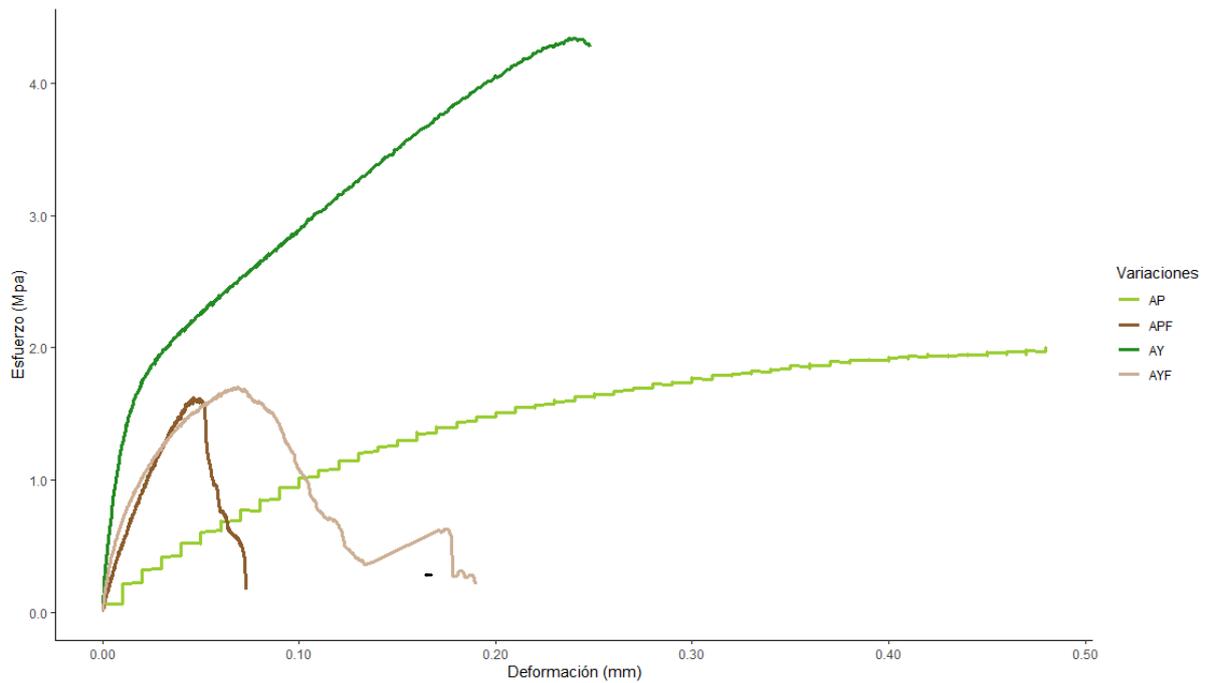


Figura 11. Gráfica de esfuerzo (MPa) vs Deformación en las cuatro variaciones

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, AYF presenta una resistencia correspondiente a 1,72 Mpa y una deformación de 0,14 mm, mientras que APF presenta valores de 1,58 Mpa y 0,8mm para la resistencia y la deformación respectivamente. Los valores bajos de la resistencia para estas muestras se pueden interpretar como una rigidización del compuesto con la incorporación de fibra según lo afirma Hidalgo *et al*, (2012), ya que la rigidez de la fibra restringe la deformación (Fig 12).



Figura 12. Montaje prueba mecánica Escuela de Ingeniería de la Universidad del Valle b) Probeta rota

Fuente: Esta investigación

Mina (2012) y Cortés *et al* (2014) resaltan que las propiedades mecánicas de los almidones termoplásticos o TPS varían con el tiempo, la temperatura y la humedad relativa a las que estén expuestos. Por lo tanto se puede concluir que la humedad absorbida por las probetas afectó sus propiedades mecánicas, debido a la naturaleza hidrofílica del almidón. Las películas tienden a absorber grandes cantidades de agua, a partir del momento de su producción.

7.2.2 Técnicas de análisis térmico

En la figura 13 se muestran los resultados arrojados por el Termograma DSC, donde se presenta la transición térmica de gelatinización, es decir, empieza la formación de una pasta viscosa. La transición comienza con una temperatura inicial (T_i) que indica el hinchamiento del gránulo por la entrada de agua seguido por la temperatura de pico (T_p) que es la temperatura donde se registran los valores más altos de absorción de calor y está representado con un pico endotérmico (necesita calor para producirse). En este punto la muestra comienza a pasar a un estado gomoso debido al inicio de la ruptura de los gránulos de almidón (Pineda, *et al*, 2010) y por último se presenta la temperatura final (T_f) de la gelatinización.

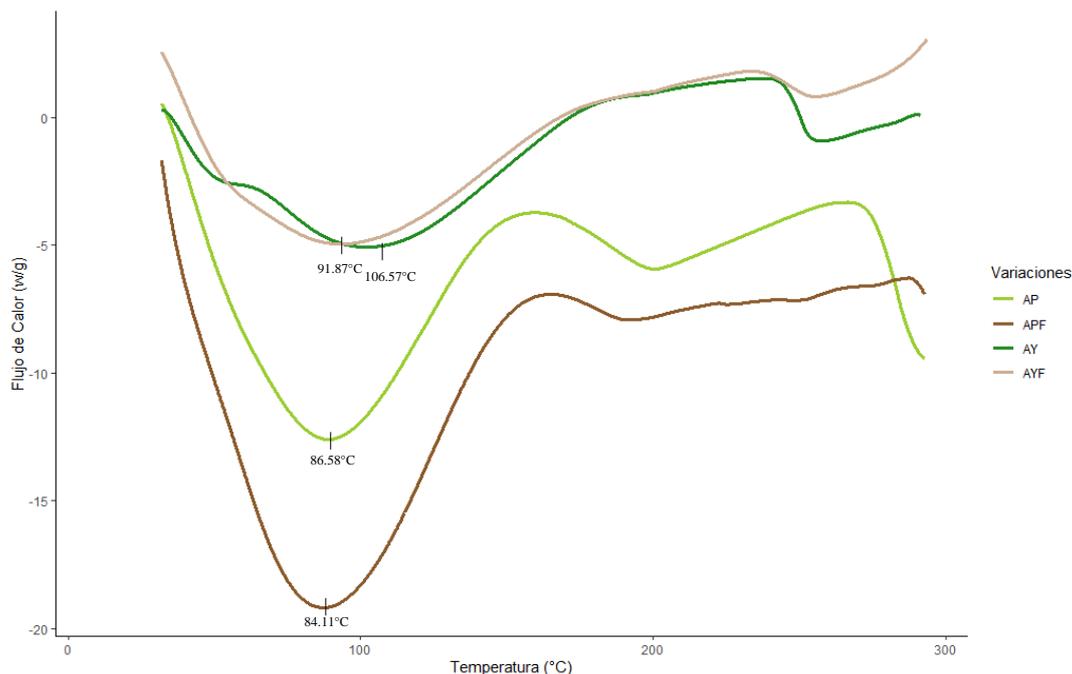


Figura 13. Termogramas DSC para las cuatro variaciones

Fuente: Esta investigación

Según Salgado *et al* 2019, a mayor temperatura de gelatinización, mayor es el grado de ordenamiento entre macromoléculas (moléculas de enorme tamaño) presentes al interior del gránulo de almidón, los resultados obtenidos permiten inferir que la estructura de almidón con mayor orden intragranular (dentro de los gránulos) se obtiene del almidón de yuca que presenta una temperatura de gelatinización de 106.57°C, seguida en orden descendente de AYF, AP y APF con valores respectivos de 91.87°C, 86.58°C y 84.11°C, lo que puede indicar que el almidón presente en APF iniciaría el proceso de absorción de agua, hinchamiento y gelificación a una menor temperatura y necesitaría un menor requerimiento energético. En la gráfica (Fig.13) también se observa que las cuatro variaciones presentaron un segundo pico endotérmico leve que en APF Y AYF se podría atribuir a la distribución heterogénea de la fibra en la matriz según lo reporta Luna, *et al*, 2009 y en AP y AY se debe a una dispersión pobre de los gránulos de almidón en la glicerina (Ruiz, 2006) y otra razón es que cuando el agua es limitada, solo una parte de los gránulos se funden y los gránulos

restantes se funden posteriormente a mayores temperaturas lo cual da origen a un segundo pico endotérmico según lo afirma Pineda, *et al* (2010).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de DSC, el almidón de papa mostró un bajo gasto de energía representado como calor, lo cual haría atractivo el producto para reducción de costos energéticos en la elaboración de productos a base de este almidón. Sin embargo, si se busca durabilidad el almidón de yuca presenta una mayor estabilidad térmica porque sus cadenas poliméricas son más fuertes, aspecto beneficioso para su uso en la industria alimenticia (Pardo *et al*, 2013).

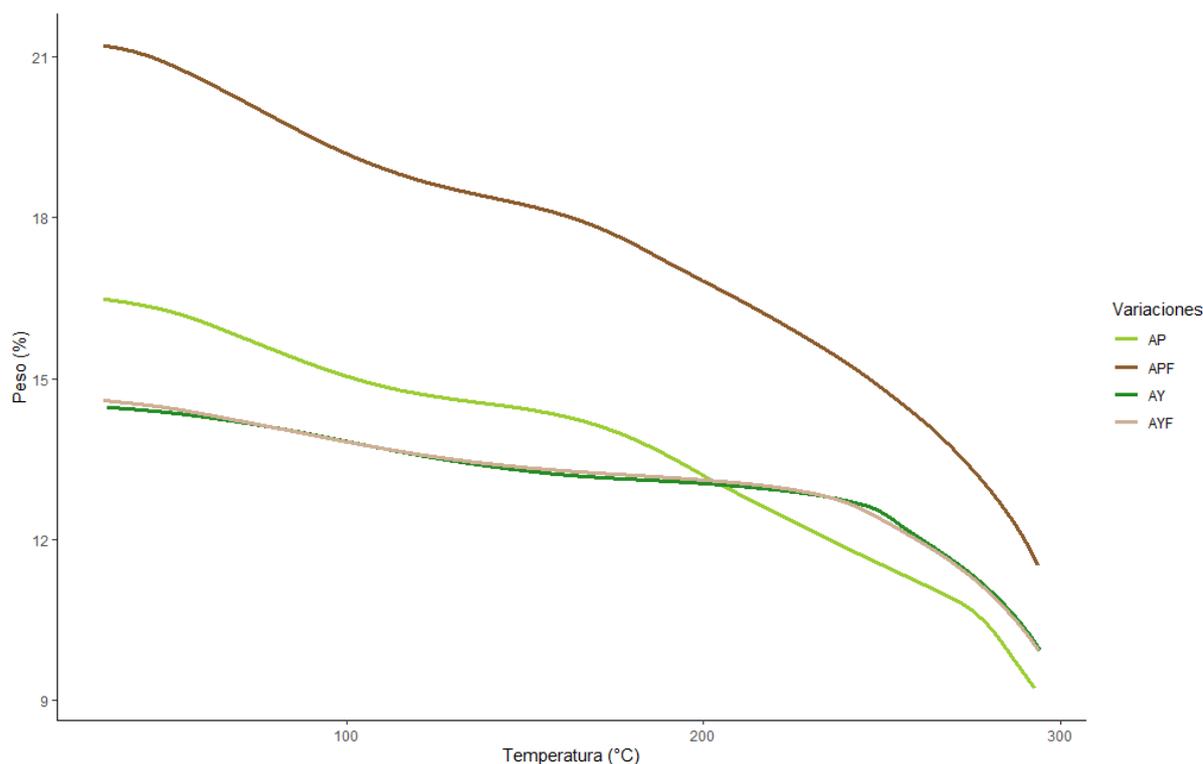


Figura 14. Termogramas TGA para las cuatro variaciones

Fuente: Esta investigación

Los resultados obtenidos de los análisis termogravimétricos para las cuatro variaciones, se observan en el termograma de la Figura 14. APF presentó la mayor pérdida de masa correspondiente a 45.53% entre 33°C a 300°C, seguida de AP, AYF y AY con valores de

43.83%, 31.97% y 31.12% respectivamente, en el mismo rango de temperatura. Estas pérdidas de masa están relacionadas con la evaporación del agua y el plastificante (glicerina) que presenta la muestra. Por otro lado, el almidón de papa requirió de una menor temperatura para el inicio de la degradación y el almidón de yuca una mayor. Lo anterior es consecuente con lo reportado por Enriquez *et al*, 2012.

Por otra parte, Gañan *et al*, (2002) observaron por medio de TGA que la fibra de fique puede soportar hasta 220°C aproximadamente sin degradarse.

7.2.3 Prueba de Solubilidad

Para AP y APF, la primera vez que se introdujeron las muestras en agua fría, las láminas adquirieron un aspecto pegajoso, con una textura porosa, AY presentó una textura lisa y también pegajosa y la muestra de AYF empezó a recogerse en contacto con el agua. Los siguientes días se revisaron las muestras sin observar cambios significativos. Al cabo de 50 días (Fig. 15 a y b) las láminas AP y APF aún seguían completas pero más débiles y pegajosas. La lámina de AY se encontraba partida en trozos y la de AYF estaba mucho más débil y se dividió en 2 partes (Fig. 15 c y d). De lo anterior se infiere que el almidón de yuca es más soluble en agua fría que el almidón de papa y que la incorporación de fibra a la matriz le atribuye más resistencia al agua. Este comportamiento puede deberse al tamaño del gránulo, la organización molecular y contenido de los componentes del almidón (amilosa/amilopectina), ya que, según (Kokini *et al* (1992) y Mercedes (2017) los gránulos con mayor contenido de amilosa y un menor tamaño de gránulo presentan mayor solubilidad en agua.

Por lo tanto, los almidones con gránulos pequeños como el almidón de yuca presentan mayor solubilidad en agua fría y alta capacidad de absorción de agua según lo reporta Singhal y

Kulkarni (1988) por lo que podrían ser empleados en la elaboración de películas biodegradables o comestibles (Rios, 2014).

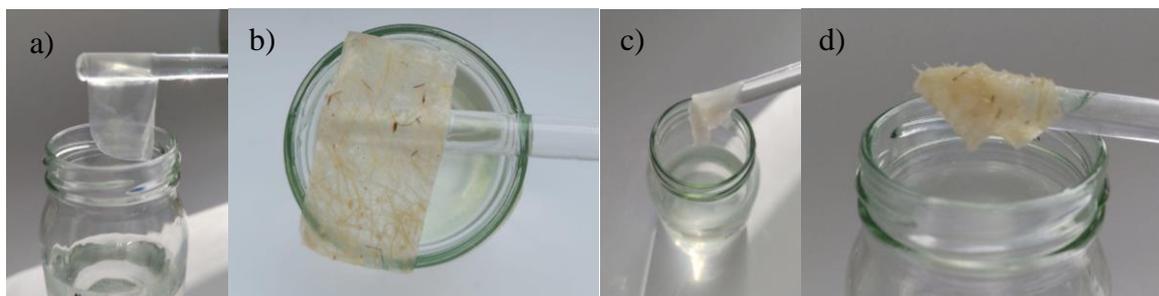


Figura 15. Muestra de a) AP b) APF c) AY d) AYF a 50 días de estar en agua fría
Fuente: Elaboración propia

La primera vez que se sumergieron en agua caliente las láminas de AP y APF (Fig 16a) se volvieron muy débiles, pegajosas y se rompieron fácilmente. Para AY y AYF las láminas estaban frágiles y cauchosas sin embargo no se fraccionaron (Fig. 16 b y c).

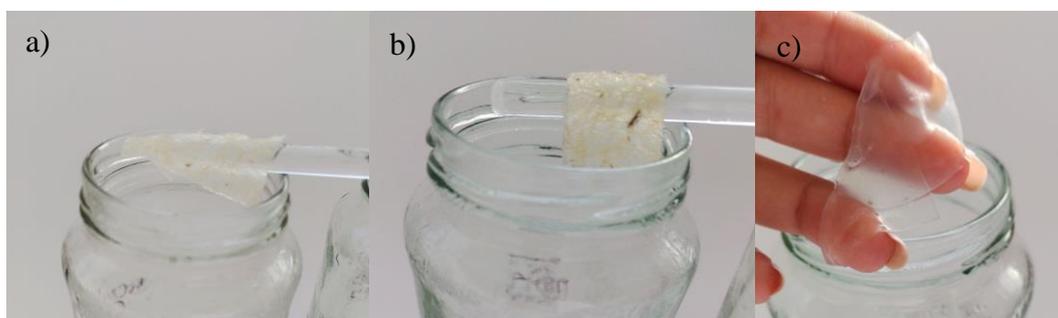


Figura 16. Muestra de a) APF b) AYF c) AY el primer día en agua caliente
Fuente: Elaboración propia

Al cabo de pocos días las muestras se deshicieron casi por completo dejando residuos de almidón y fibras de fique almacenadas en el fondo del frasco. También se pudo visualizar que en el agua se formaron varios hongos a lo largo de la prueba. Las muestras que se sometieron en agua caliente se disolvieron más rápidamente en comparación a las muestras disueltas en agua fría (Fig. 17). Un aumento en la concentración de la glicerina proporcionó un aumento en la solubilidad de las películas de almidón de papa debido a que la glicerina absorbe agua fácilmente, según lo informado por Nawab, *et al*, (2016) y López, *et al*, (2008). Así mismo, según Lopez, *et al*, (2008), la solubilidad de la película aumenta a medida que aumenta la temperatura.

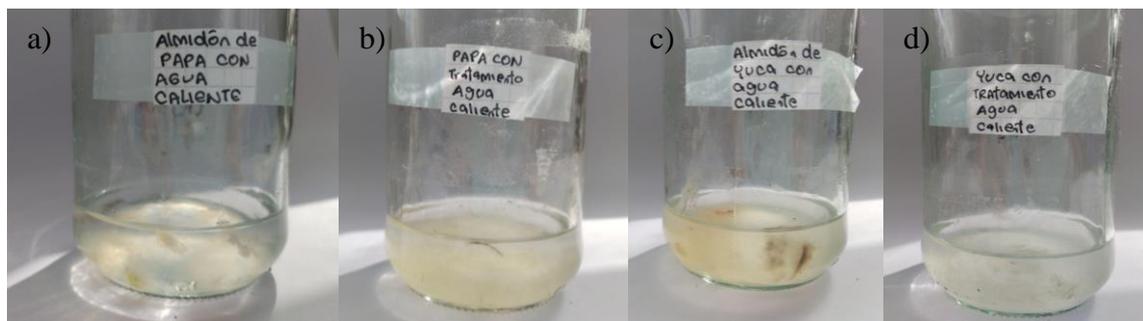


Figura 17. Muestras de a) AP b) APF c) AY y d) AYF en agua caliente una vez terminada la prueba

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Prueba de Biodegradabilidad

A los 11 días de iniciada la prueba, la lámina de AP tenía un aspecto frágil, estaba parcialmente húmeda y empezó a partirse en una esquina, así mismo se encontraba la lámina de AY con la diferencia de que esta empezó a recogerse. La muestra de APF estaba completa aunque también débil y húmeda, y la lámina de AYF comenzó a fraccionarse. Los siguientes días no se observaron cambios significativos para ninguna de las variaciones.

A los 30 días la lámina de AP se encontraba dividida en trozos pequeños mientras que la de AY se degradó por completo, la de APF aún permanecía completa y finalmente en AYF quedaron diminutos trozos de lámina y restos de fibra. Cabe destacar que en ninguna prueba la fibra se degradó, esto se puede atribuir a que la fibra tiene un periodo de degradación aproximado de 182 días (6 meses) bajo condiciones controladas de biodegradación, de acuerdo a lo reportado por Pinchao, *et al.*, (2019). De igual manera a lo presentado en la prueba de solubilidad en agua fría, las láminas de almidón de yuca se degradaron más rápidamente que las de almidón de papa y junto a la incorporación de fibra en APF se retrasó en mayor medida el proceso de degradación. A los 52 días de terminada la prueba, la lámina de APF se mantuvo parcialmente completa, indicando que requiere de mayor tiempo para su degradación total, sin embargo, todas las láminas obtenidas presentan esta característica de biodegradabilidad. A continuación se ilustran los resultados obtenidos (Fig. 18). En este caso

la capacidad que tienen los gránulos para absorber agua es determinante para la biodegradación. Lo que ocurre en el material es que los gránulos de almidón se hinchan como resultado de la absorción de agua debido a la afinidad por el agua (hidrofílica) que presenta el material (Ruiz, 2009), por esta razón esta propiedad está directamente influenciada por la solubilidad.

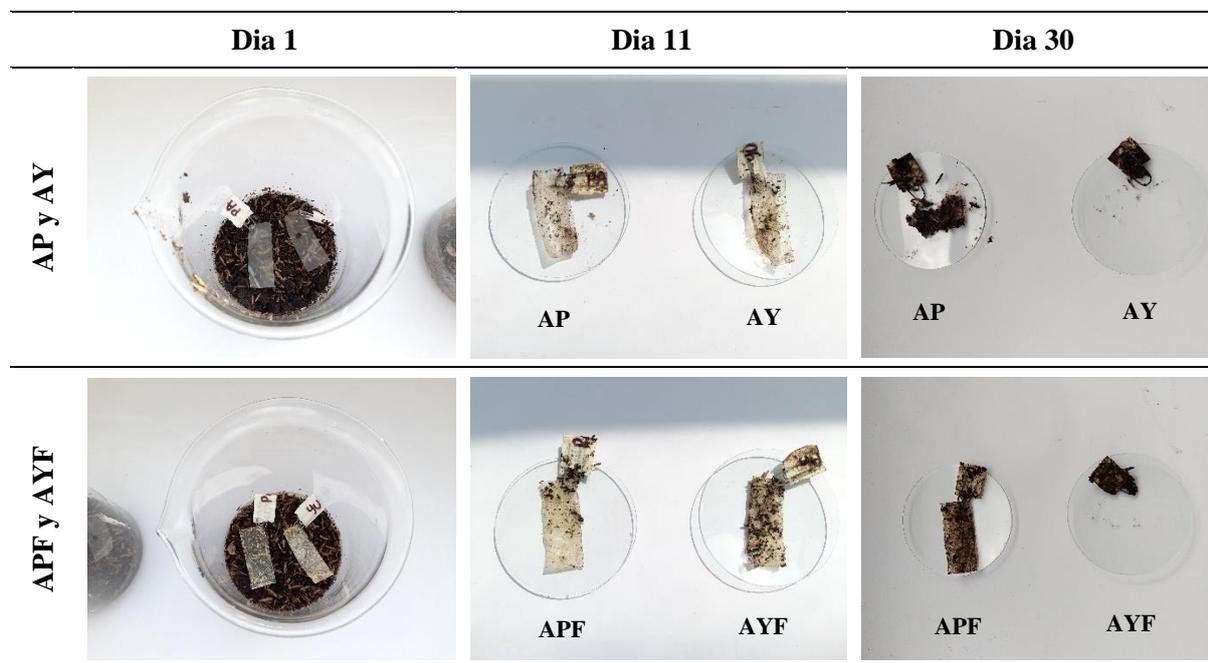


Figura 18. Prueba de biodegradabilidad para las cuatro variaciones a lo largo del tiempo. Se presenta en la figura los días en que aún se observaban fragmentos de las láminas

Fuente: Elaboración propia

7.2.5 Exploración del material

Las láminas de AP se secaron de manera uniforme, sin burbujas, poseen una apariencia translúcida y son muy flexibles, lo anterior se atribuye a la cantidad de glicerina (plastificante) añadida. La fibra se distribuyó homogéneamente en la lámina de APF, aunque redujo la flexibilidad de la misma, ambas resultaron fácil de cortar, no se ondulan y también permitió coser en máquina para la destinarlas en la elaboración de bolsas de compras.

En AY la película es rígida, lo cual, permitió elaborar prototipos en 3d por medio del plegado, sin embargo, con el tiempo se encoge, se ondula y se vuelve quebradiza debido a las

condiciones del ambiente. AYF presenta las mismas características anteriores con la excepción que es mucho más rígida, permitiendo generar estructuras estables, característica útil para la elaboración de empaques como cajas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización sensorial de cada variación. Todas las láminas presentaban la característica de ser mate en una cara y brillante en la otra dependiendo del tipo de molde usado para verter la mezcla (Fig. 19).

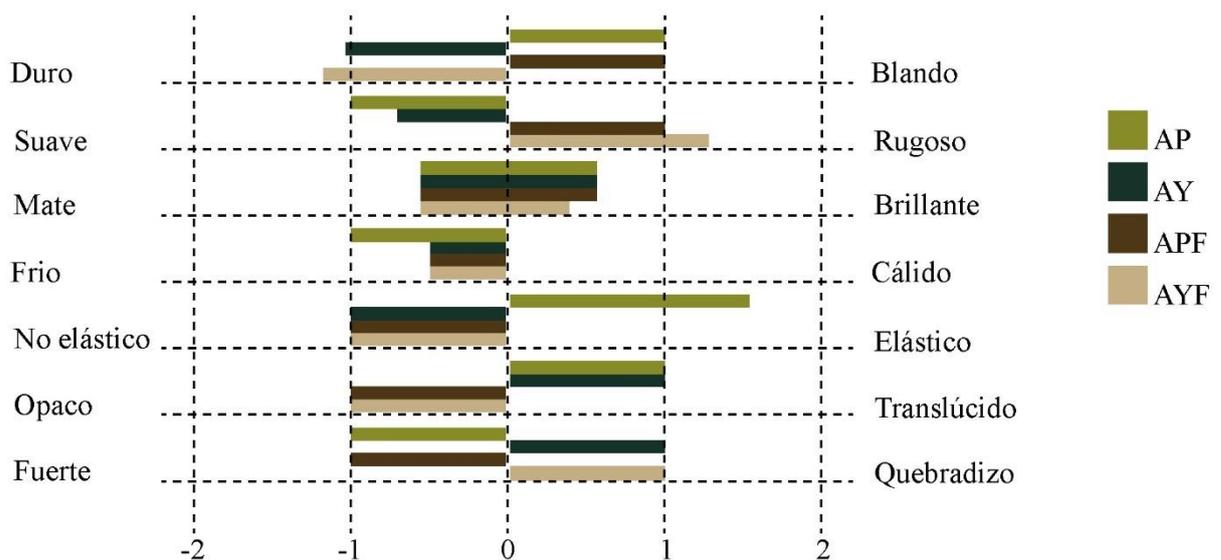


Figura 19: Caracterización sensorial de cada una de las muestras

Fuente: Elaboración propia

Se experimentó la posibilidad de generar costura en las láminas fibroreforzadas con máquinas para coser cuero, esta prueba presentó resultados favorables al permitir coser las láminas y ampliar las alternativas de uniones. De igual forma se probó doblar y generar ensambles en el material, en APF debido a su flexibilidad no conserva la forma del doblar, pero en AYF las láminas tienen memoria, por lo tanto adoptan y conservan el pliegue realizado (Fig. 20).

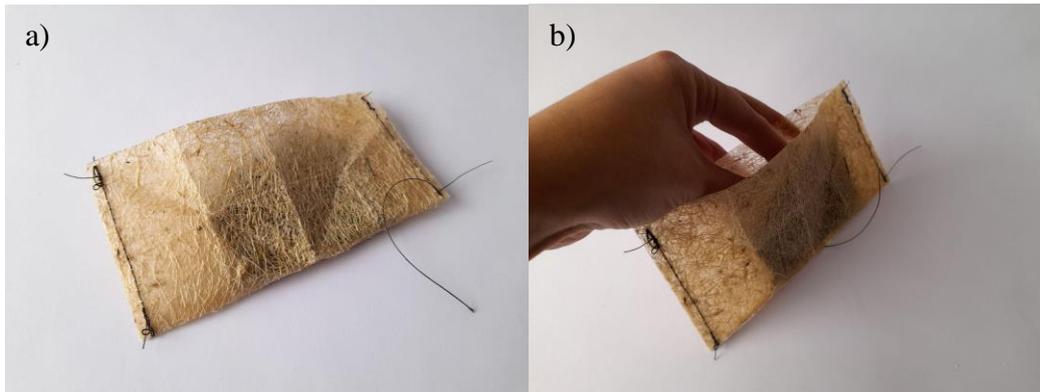


Figura 20: Pruebas de costura en AYF

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, al exponer las láminas a las altas temperaturas en la prueba de termoformado, APF adopta parcialmente la forma del molde pero solo por pocos minutos y después vuelve a su forma original. Las láminas AYF se tornan rígidas y quebradizas (Fig. 21 a y b). Para las pruebas con corte láser se probó varios parámetros para corte, delineado y grabado hasta encontrar el adecuado, se obtuvo resultados positivos ya que los cortes fueron precisos y no quemaron el material (Fig. 21 c y d). Sin embargo, en AYF el exceso de dobleces y cortes provoca que la lámina se rompa.



Figura 21. a) y b) Pruebas de termoformado en APF Y AYF c) y d) Prueba con corte laser en AYF

Fuente: Elaboración propia

Se realizó otra prueba con selladora sin embargo debido al grosor y a que en una cara de las láminas fibroreforzadas la fibra se encuentra expuesta en la superficie sin la presencia de

almidón, no permitió el termosellado. En AY permitió un sellado débil y temporal (Fig. 22 a y b). Por otro lado, en la generación de texturas, las láminas adoptaron correctamente los patrones de los moldes (Fig. 22c).

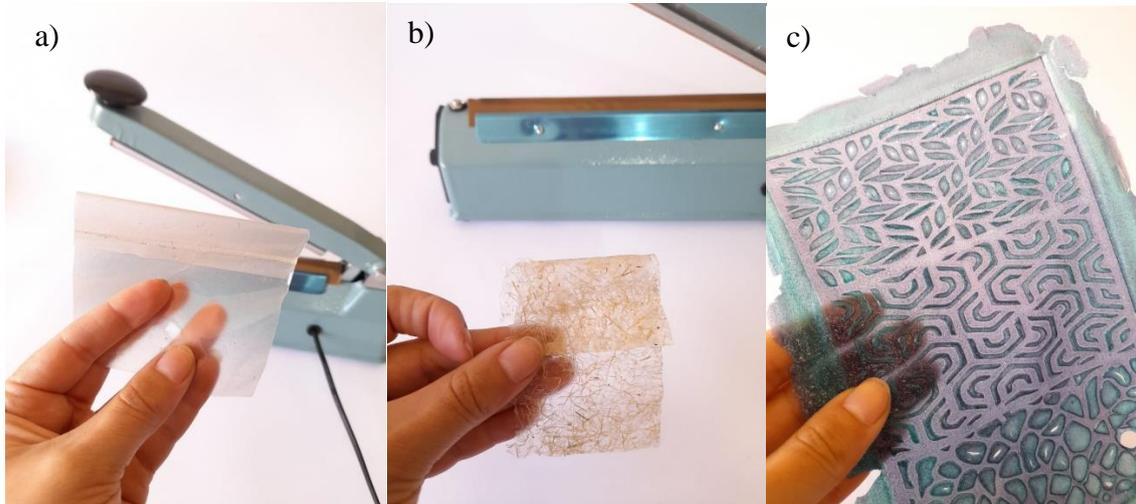


Figura 22. Pruebas con selladora de calor en a) AY y b) AYF c) Prueba de generación de texturas en AY
Fuente: Elaboración propia

8. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCTOS

Se elaboro prototipos de carácter formal y funcional que permitan transportar y almacenar alimentos a partir del material compuesto con las características específicas de cada variación (AP, AY, APF, AYF). Teniendo en cuenta los factores determinantes de diseño, los cuales surgen a partir de los resultados obtenidos en la exploración y caracterización del material, se realizaron los primeros bocetos y maquetas iniciales. Todo este proceso permitió configurar la estructura de la forma deseada para la creación de la línea de productos.

8.1 Factores Determinantes del material:

- Material translúcido, permite el paso de la luz
- Memoria del material, adopta y conserva la forma que se le aplique, solo en AYF
- Flexibilidad del material, facilidad para cambiar de forma, doblarse, estirarse, deformarse sin romperse, solo en AP

8.2 Oportunidades de Diseño:

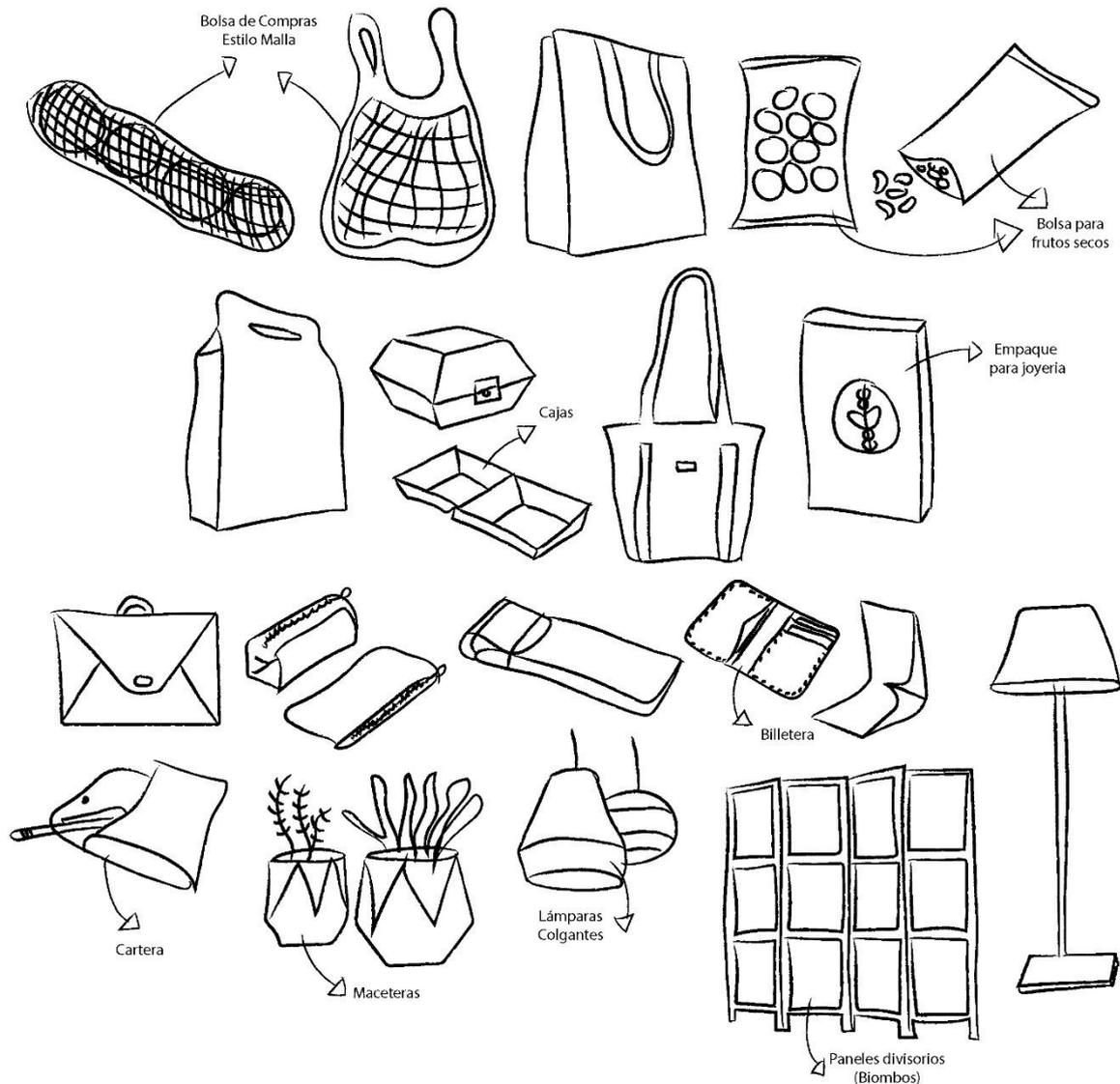


Figura 23. Bocetos de las oportunidades de diseño

Fuente: Elaboración propia

Las oportunidades de diseño incluyen objetos como bolsas de compras, artículos de embalaje como cajas, accesorios como carteras, cartucheras, billeteras, porta-lapiceros para aprovechar la dureza y flexibilidad que tienen los materiales. Después de evaluar cada una de las oportunidades, se optó por la elaboración de empaques teniendo en cuenta las características formales y funcionales de cada material a utilizar (Fig. 23). Por lo tanto, se realizaron maquetas iniciales en cartón y cartulina para determinar la forma y definir que alimentos se iban a contener, en primera instancia se pensó en alimentos que contengan cascara como

huevos, frutas y productos secos como el maní, pasta (fideos), galletas para evitar que la humedad o grasa de la comida dañe el material (Fig. 24). Sin embargo, este tipo de empaques requería usar pegamento para unir las pestañas o solapas y a pesar de haber realizado varias pruebas la lámina de AYF no permitió el uso de pegamentos naturales a base del mismo almidón.



Figura 24. Maquetas iniciales de posibles empaques

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se optó por el desarrollo de empaques que no requieran pegamento y que solo a través de dobleces se generara un volumen. Se exploró algunas formas geométricas básicas como cuadrados y triángulos, algunas cajas de una pieza con agarraderas, otras de dos piezas y algunas con ventanas en la parte superior para tener mayor visibilidad del producto que contiene (Fig. 25). A partir del proceso de bocetación, maquetación y asesorías en el aula se estableció la propuesta final.

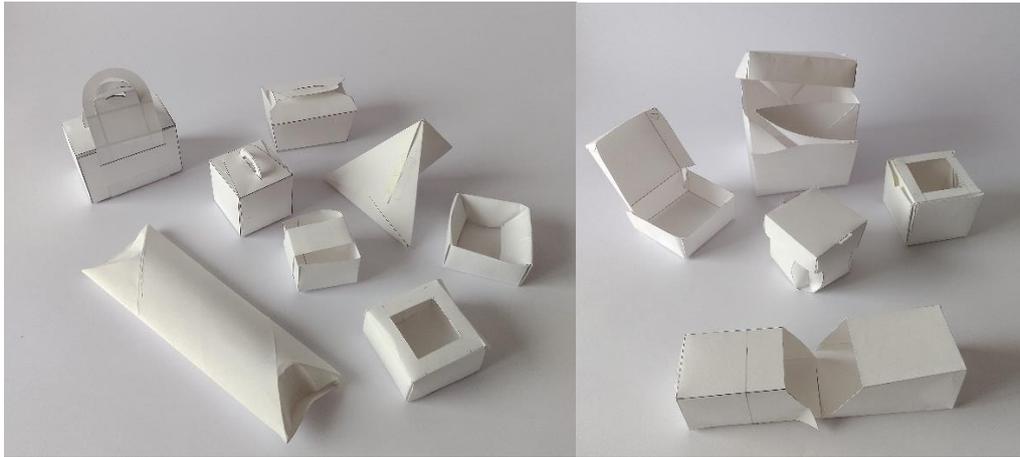


Figura 25. Maquetas iniciales de posibles empaques

Fuente: Elaboración propia

8.3 Desarrollo de la propuesta escogida

Descripción: La función principal del empaque es la de almacenar y transportar alimentos, se manejará formas estándar cuadradas y rectangulares donde solo a través de plegados se logre conformar un objeto volumétrico, lo anterior para facilitar el tiempo de armado, el espacio de almacenamiento ya que es apilable y evitar el uso de pegantes. Se busca captar la atención del público a través del material compuesto, usando almidón de yuca fibroreforzado para la estructura del empaque y almidón de papa para el sistema de cierre de la caja.

Logotipo y paleta de color:

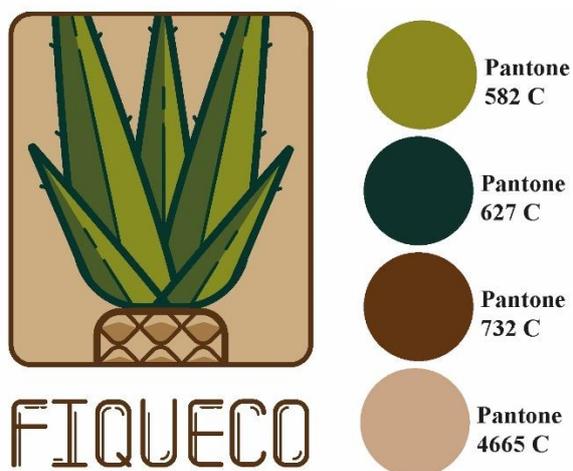


Figura 26. Logotipo y paleta de color

Fuente: Esta investigación

El logotipo representa la planta de fique y el nombre “Fiqueco” significa fique: planta y eco: ecológico. Se uso un concepto geométrico con las hojas de la planta puntiagudas, el cual también se ve reflejado en los resultados finales de los empaques (Fig. 26).

Target: El proyecto tiene los productos de pastelería o repostería como elemento de enfoque teniendo en cuenta las propiedades térmicas, de resistencia al peso y de precio por lamina que ofrece el material. El consumidor potencial serán aquellas personas hombre/mujer entre 27 y 60 años, con un poder adquisitivo medio-alto que disfruten comprar obsequios para sus seres queridos o amigos con empaques que sean atractivos visualmente y que cumplan su función de almacenar y transportar. De igual forma se busca atraer al consumidor que manifiesta su preocupación por el medio ambiente en su comportamiento de compra, adquiriendo productos de menor impacto ambiental.

8.4 Procesos de boceto del empaque

En primera instancia se partió del plano para generar un volumen a través de la repetición del módulo. Este diseño origina su estructura en un cuadrado con una serie de nueve elementos, que a través del doblar en sus esquinas superiores e inferiores genera una estructura compacta y volumétrica, el siguiente grafico ilustra su composición.

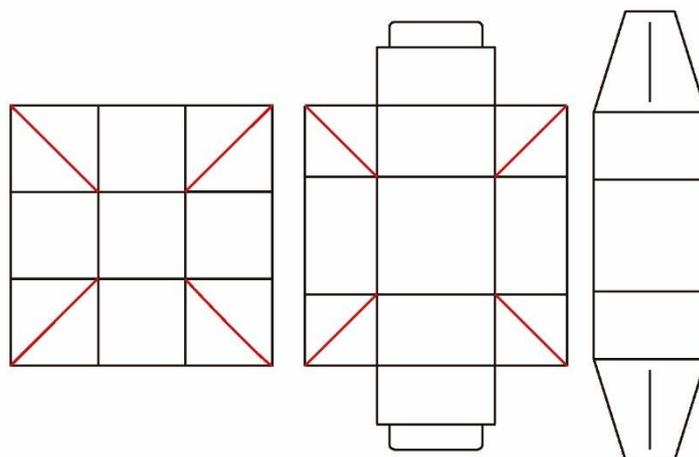


Figura 27. Composición del empaque

Fuente: Elaboración propia

La medida de cada empaque varía de acuerdo al elemento que va a contener transformando algunos cuadrados en rectángulos. Adicionalmente se agregó solapas de cierre que se complementan con una pieza externa para introducir las solapas y generar el sistema de cierre para poder transportar el elemento (Fig.27). También se buscaba generar un contraste al momento de observar y palpar el empaque, haciendo uso de las dos películas del material como AP y AYW. De igual forma se usó la gama de colores presentes en el logotipo. A continuación, se realizaron los bocetos del diseño de las cajas y sus variaciones (Fig. 28).

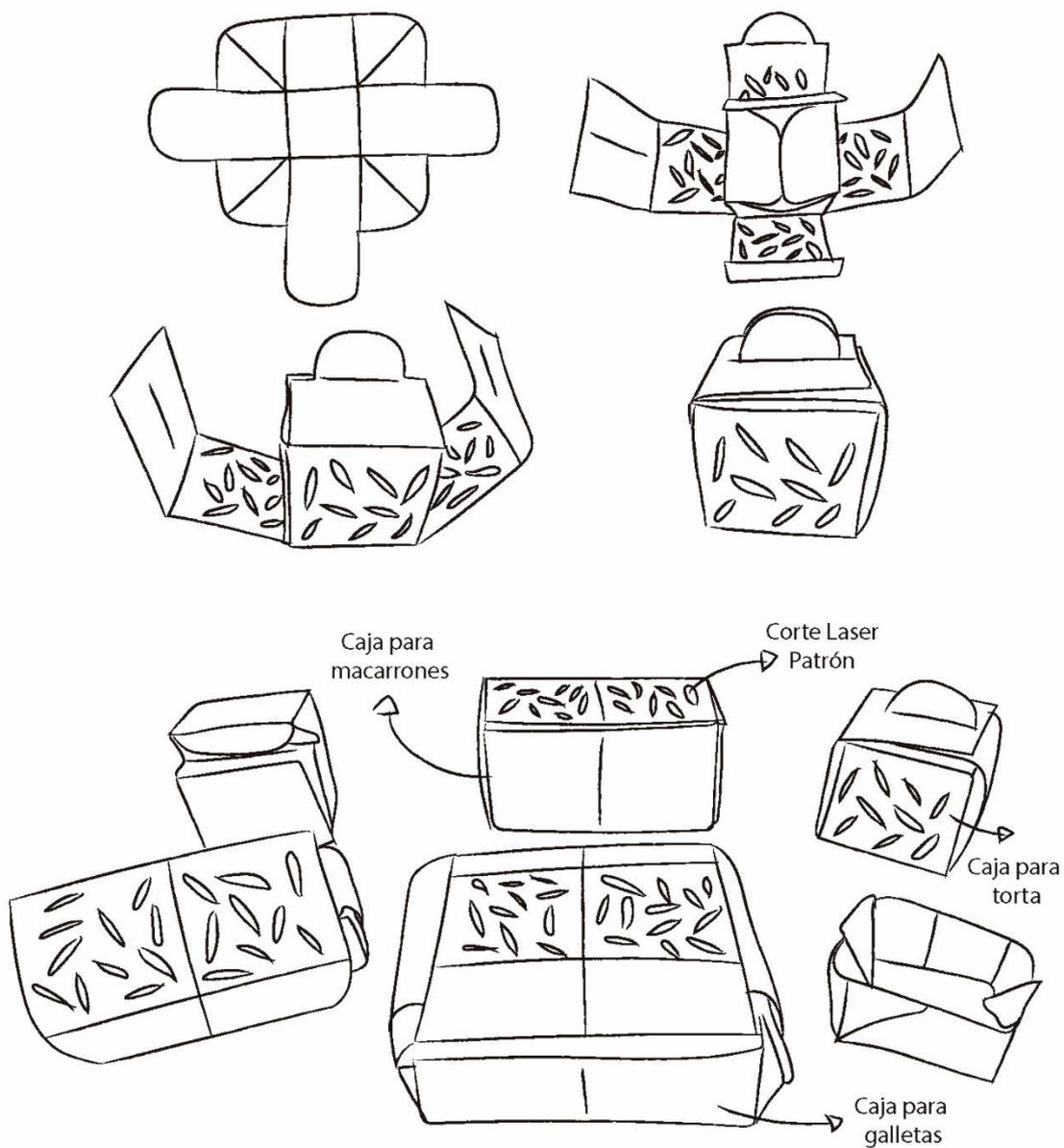


Figura 28. Bocetos del diseño de las cajas y sus variaciones
Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso fue realizar maquetas tridimensionales a escala, en este caso se realizó el empaque en cartulina blanca donde se probó los plegados, dobleces y mecanismos de cierre (Fig. 29).



Figura 29. Primeras maquetas tridimensionales de las cajas y sus variaciones

Fuente: Elaboración propia

Luego de resolver los problemas de medidas y mecanismos se definió las medidas reales según los productos a contener y se elaboró maquetas finales del diseño completo y a color (Fig. 30).

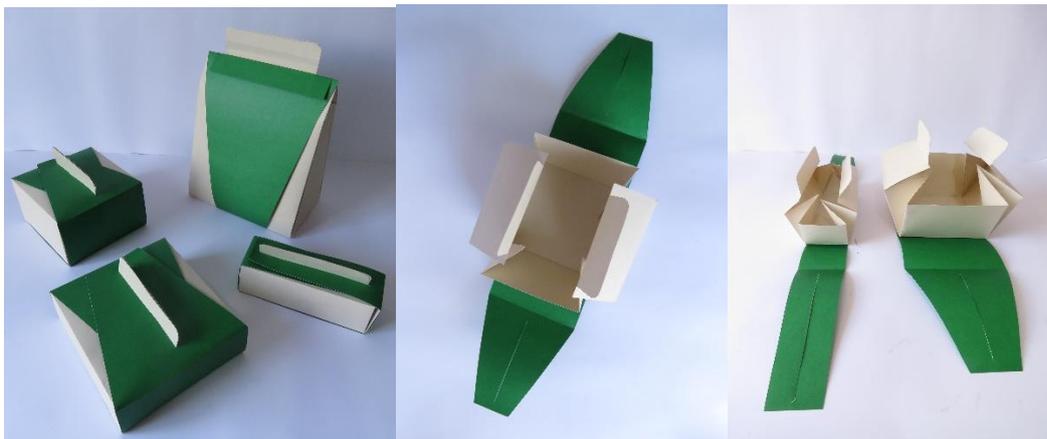


Figura 30. Maquetas tridimensionales de las cajas y sus variaciones

Fuente: Elaboración propia

8.5 Propuesta final de la línea de empaques

Se elaboraron los prototipos del empaque con el material compuesto y con los productos a contener. Debido a que la lámina de almidón de yuca fibroreforzada presenta una cara

brillante, esta cara se eligió para la parte interna y para estar en contacto directo con los alimentos. Adicionalmente se realizó una bolsa de compras tradicional con almidón de papa que permitió ser cocida en máquina (Fig. 31, 32, 33,34).



Figura 31. Prototipos reales del empaque
Fuente: Elaboración propia



Figura 32. Prototipos reales del empaque
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Prototipos reales del empaque
Fuente: Elaboración propia



Figura 34. Prototipos reales del empaque y bolsa de compras
Fuente: Elaboración propia

8.6 Proceso de Validación

A través de entrevistas presenciales y encuestas virtuales se llevo a cabo el proceso de validación donde se le pregunto a 7 establecimientos comerciales, sobre la apariencia, usabilidad, valor (precio) y que elemento destacan del producto presentado. A continuación, se presentan los resultados para cada establecimiento:



Cafetería

- Le parece elegante el empaque con la fibra
- No le agradó la lámina de almidón de papa, le quita elegancia, no se entiende su funcionalidad.
- Le colocaría una agarradera para que sea más fácil de transportar.
- Las características que destaca del producto es la biodegradabilidad, amigable con el medio ambiente, el diseño le parece elegante y le es interesante si se le puede colocar la marca del local.



Pastelería Artesanal

- Los empaques deberían ir acordes al lugar (colores del local)
- Pagaría más o menos 5.000 pesos por empaque pequeño
- Los aspectos que ellos tienen en cuenta al momento de elegir productos es la resistencia que este les ofrece porque las tortas son pesadas.
- Los clientes reutilizan las cajas.
- Sugiere que la forma de cierre de la caja debe ser más rápida porque consideran que es compleja y demorada al momento de cerrar la caja.
- Le llama la atención lo artesanal del producto, debido que va acorde al lugar.



Panadería y Repostería

- El empaque le parece muy bonito, al igual que los colores.
- Les gustaría utilizar cosas que ayuden al medio ambiente y novedosas como el empaque presentado.
- Están intentando cambiar los productos plásticos por algo que sea amigable con el medio ambiente, sobre todo para productos para llevar.
- Considera que vale la pena pagar por algo así, pero se les sale del presupuesto, pagaría más o menos 2.000 pesos por caja
- Considera que es apto para estar en contacto directo con los alimentos porque está plastificado.
- Sugiere que solo se envase alimentos fríos y secos.
- Considera que el empaque debería tener otra forma de armado para evitar los cortes y la presión que esta forma de armado le ejerce al empaque.
- Considera que los colores están acordes a la propuesta, pero el cambiaría el color verde por el azul que va acorde a la marca



Repostería Fina

- Le pareció muy interesante
- Le llamo la atención ya que se puede fabricar los empaques de diferentes medidas y colores
- Completamente orgánico
- No afecta la comida que contiene
- Sin embargo, la lámina se reseca, pierde un poco el aspecto simétrico, se craquea.
- Le gustaría ver el empaque con la marca
- 5,700 costo aproximado del empaque
- Prefiere caja pequeña para un solo macarrón o dos, que es su producto principal
- Le gusta marcar la diferencia
- Actualmente usa empaques en cartón reciclado y en acetato
- Le preocupa la resistencia de las cajas
- En los productos se cobra adicional por empaque



Repostería Artesanal

- Les parece muy moderno, creativo, también da pie a imaginar muchas aplicaciones para exhibir el producto.
- También da sensación de limpieza, practicidad y creemos que podría ser reutilizado después de cumplir su primer fin de funcionar como contenedor de nuestro producto.
- Lo mas destacable es el diseño que incluye la forma, colores y el material
- El sistema de cierre fue la parte que más les gustó, luce practico y moderno
- Prefieren los colores neutros (ej: blanco, negro, gris)
- Inferior a 10.000 pesos es el precio que le ponen al empaque
- Prefieren que el empaque se pueda adaptar a la línea gráfica y colores de la marca según la demanda



Detalles y Decoración

- No conocía el material
- Pagaría más o menos 18.000 pesos
- Los colores contrastan perfectamente
- Considera que para alimentos es perfecto porque va muy bien empacado y no va a ocurrir algún accidente con el derramamiento de la comida.
- Tiene la posibilidad de abrir toda la caja y así evitar que el producto interno se dañe al momento de intentar sacarlo del empaque.



Tienda de Regalos

- El elemento que más destacan es el material
- Los elementos que guardarían en los empaques son: Accesorios, joyería, dulces, plantas, velas, vasos, tazas, figuras etc.
- Prefieren colores cálidos como el amarillo, rojo, naranja
- Inferior a 10.000 pesos es el precio que le ponen al empaque
- Actualmente usan empaques de cartón

A partir de este proceso se escogió 3 establecimientos para personalizar una línea de productos según los requerimientos de cada uno de ellos.

8.7 Desarrollo de las propuestas

Se realizó una segunda entrevista presencial con los locales comerciales escogidos, donde se investigó más a fondo sobre el lugar, su historia, que colores y decoración usan actualmente, que productos necesitan ser empacados y que colores, formas o texturas les gustaría implementar en la nueva línea personalizada. Estos fueron los resultados para la cafetería de la ciudad llamada: “A ver los pasteles los quiero probar” que se especializa en los pasteles de hojaldre (Fig. 35).

Rafael Pombo "Simón el bobito"

Simón el bobito llamó al pastelero:
¡a ver los pasteles, los quiero probar!
-Sí, repuso el otro, pero antes yo quiero
ver ese cuartillo con que has de pagar.
Buscó en los bolsillos el buen Simoncito
y dijo: ¡de veras! no tengo ni unito.



Tomado de: @averlos_pasteles

A VER LOS PASTELES LOS QUIERO PROBAR

Lugar fresco
cálido
genuino

Sabores de Hojaldres = Hawaiano, pollo, carne, chilacuan, hornado

Colores =

Dorado Cafe Biege Beige Blanco

Productos a empacar = Caja para pasteles de hojaldre x6
Caja para porción individual de torta
Bolsa para pastel de hojaldre unidad

Elegante
Sútil
Práctico
Sencillo
Tradición
Exclusividad
Sabor

Adicional: = Rotuladores para cada sabor de hojaldre

Empaque usado actualmente=



Tomado de: @averlos_pasteles

Especificaciones =

Empaque sin colores fuertes

No piezas externas

Caja tipo lonchera

Figura 35. Resumen de resultados entrevista

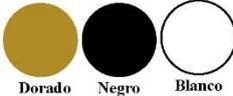
Fuente: Elaboración propia

Así mismo se realizó la entrevista para: “Camilo Charria Repostería” dedicados a la elaboración de macarons, postres y chocolatería fina (Fig. 36). También se realizó una línea para “Macadamia” repostería y pastelería especialistas en tortas, panes, pasteles, hojaldres. Posteriormente se realizó el proceso de bocetación, maquetación y prototipos a escala pequeña en el material real de un solo producto de toda la línea para ambos establecimientos, teniendo en cuenta las especificaciones anteriores. De igual forma a la línea estándar que se realizó al inicio del proyecto, se usó AYF para la estructura del empaque y AP para la pieza externa que rodea la caja. Para los prototipos en el material real se hizo prueba de grabado en laser para la marca de cada negocio e implementamos textura marmoleada para la última línea (Fig. 37, 38, 39, 40, 41).

Repostería Fina

En la ciudad había la necesidad de realizar repostería fina, por lo tanto, representó un reto debido a que los ciudadanos son muy tradicionales.

Productos = Macarons, Postres, Chocolatería

Colores =  Dorado Negro Blanco

Textura =



Mármol

Formas = Líneas Rectas
Cuadrados
Rectángulos

Productos a empaclar = Caja de macarons x6
Caja para macarons por unidad
Caja macarons x12
Bolsa para llevar

Fusión
Artístico
Estético
Minimalista
Armonía
Elegancia

Empaque usado actualmente=



Tomado de: @charriachef

Especificaciones =

Empaque sin colores fuertes

Cajas Cuadradas

Caja de dos piezas
con tapa

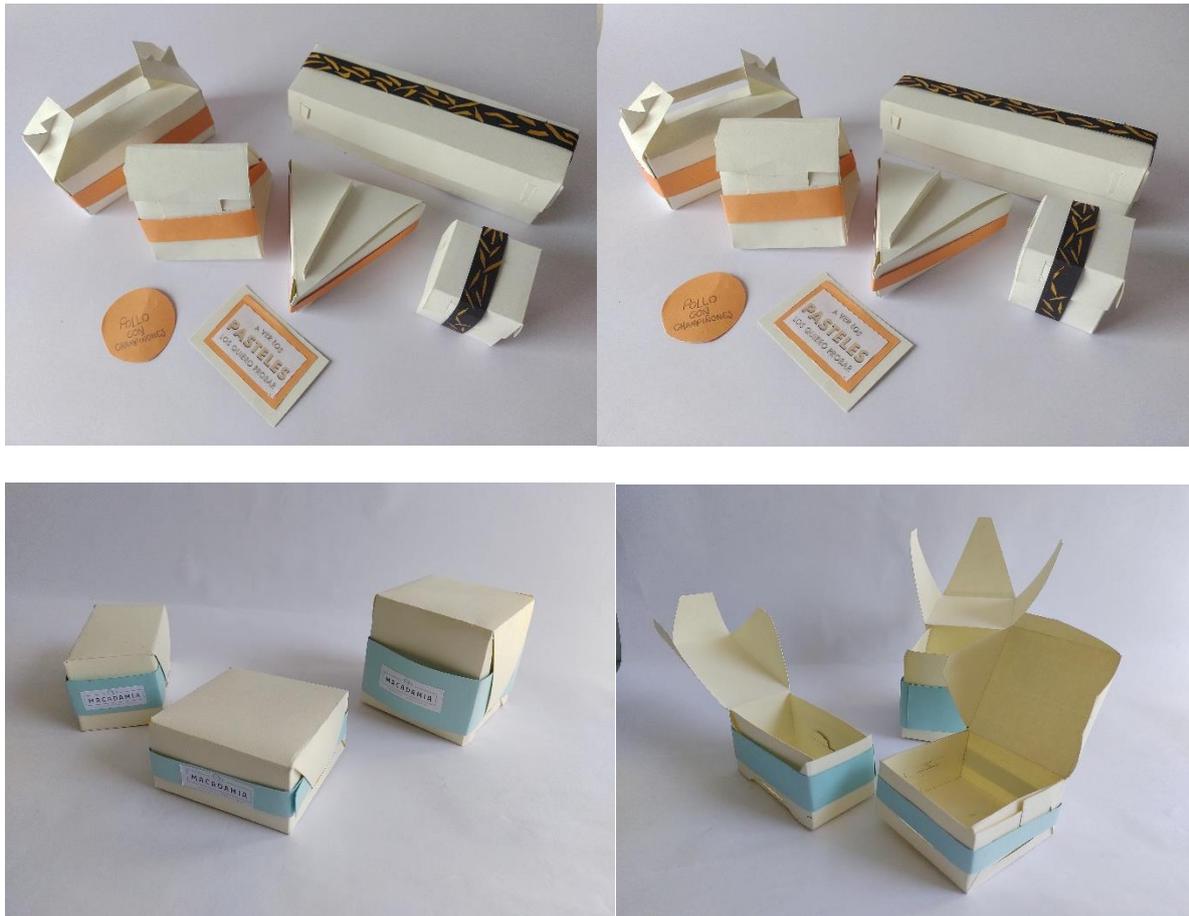


Figura 39. Maquetas tridimensionales segunda versión

Fuente: Elaboración propia

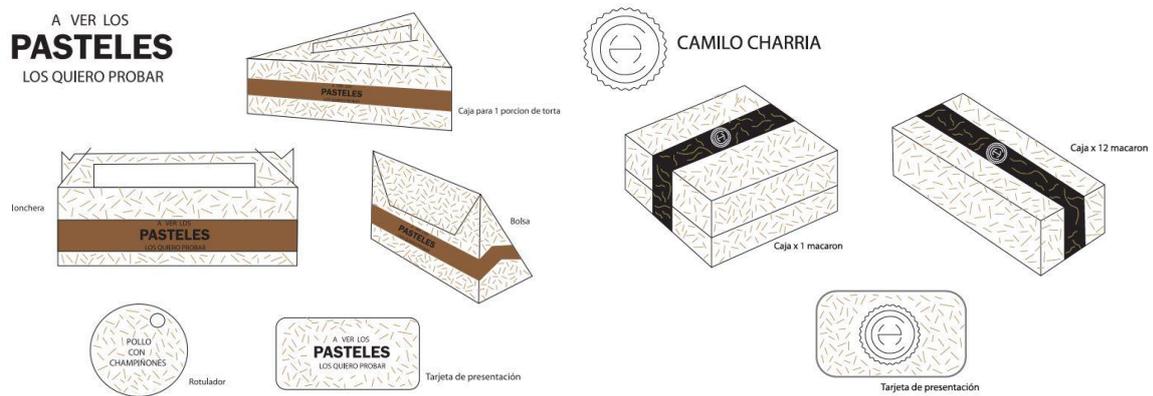


Figura 40. Digitalización de propuestas

Fuente: Elaboración propia

8.7.3 Prototipos a escala en el material compuesto



Figura 41. Prototipos reales de las líneas
Fuente: Elaboración propia



Figura 42. Prototipos reales de las líneas

Fuente: Elaboración propia

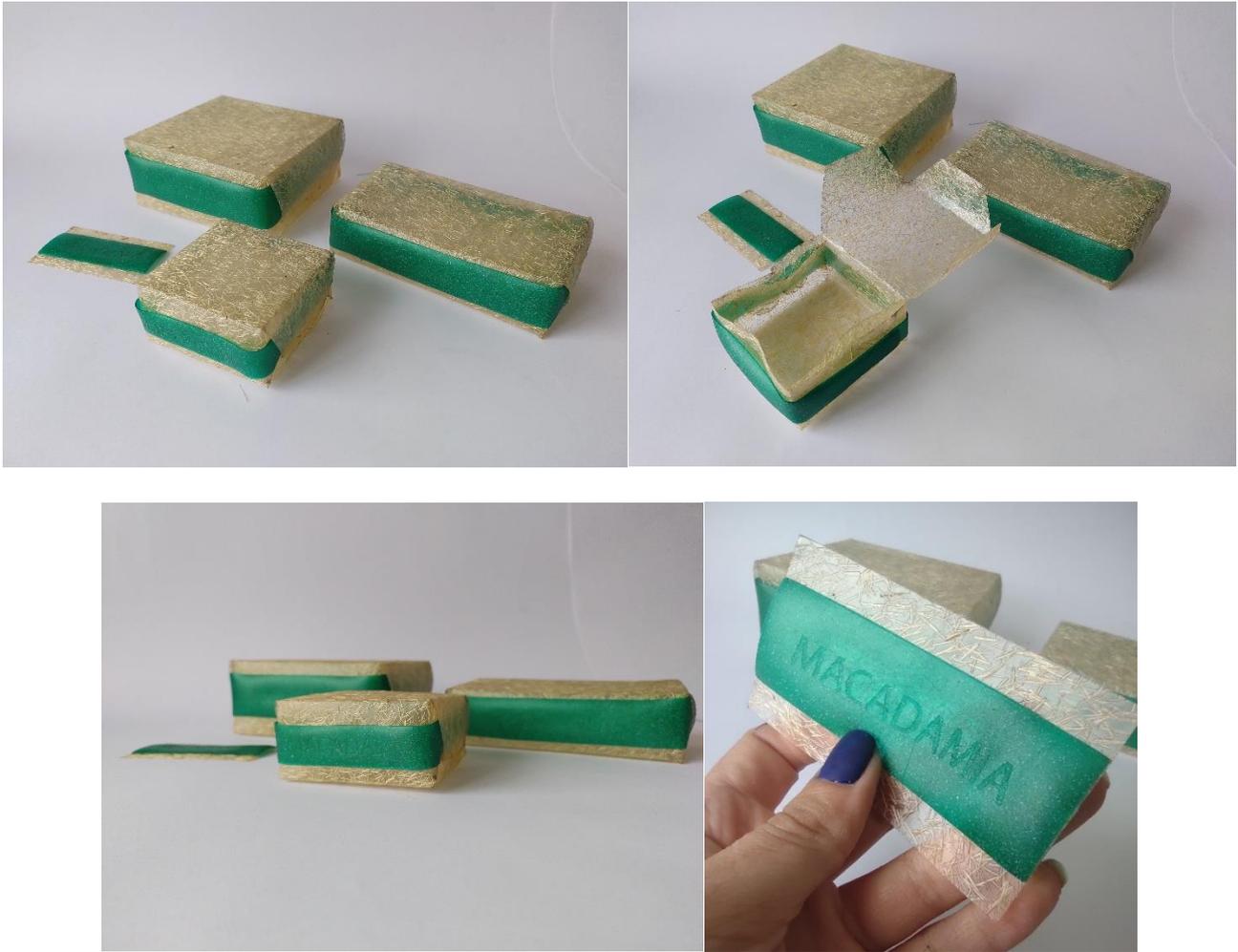


Figura 43. Prototipos reales de las líneas
Fuente: Elaboración propia

9. CONCLUSIONES

- El tratamiento alcalino con NaOH no repercute positivamente en las propiedades mecánicas del material compuesto, acción que facilita que las muestras puedan absorber en mayor proporción la humedad presente en el ambiente, ablandando el material y haciendo que su superficie transpire.
- Una de las ventajas de este material es que la preparación del mismo se puede realizar fácilmente de forma casera con elementos económicos de conseguir o fabricar.
- En las características de tensión de las muestras se observó un fenómeno de rigidez al incorporar las fibras cortas de fique a la matriz, registrando valores bajos de esfuerzo y deformación en comparación a las muestras sin fibra (AP y AY).
- Las técnicas DSC y TGA indicaron que el AP mostro un bajo gasto de energía, lo cual, haría atractivo el producto para reducción de costos energéticos en el momento de su producción y degradación, sin embargo, si se busca durabilidad AY presenta una mayor estabilidad térmica, aspecto beneficioso para su uso en la industria alimenticia.
- La caracterización sensorial permitió determinar que con la muestra de AYF se pueden generar estructuras estables a través del plegado, característica útil para la elaboración de empaques como cajas, mientras que AP posee una gran flexibilidad que facilito coser el material en máquina para el diseño de bolsas de compras.
- AY presento mayor solubilidad en agua fría y alta capacidad de absorción de agua, caso contrario sucedió cuando las mismas muestras se sumergieron en agua caliente, ya que AP tiene mayor concentración de glicerina y por lo tanto absorbe agua más fácilmente. Lo anterior se comprobó con la prueba de biodegradación, donde las láminas de AY se degradaron más rápidamente que AP.

- La versatilidad del material elaborado permite la fabricación de elementos de corto tiempo de duración, con múltiples aplicaciones en la industria de productos biodegradables, además el material permite jugar con diversos colores de origen natural y artificial y generar texturas en su superficie.
- La cantidad de glicerina y la temperatura de gelatinización es un factor importante ya que afecta la elasticidad y la calidad final (consistencia, estabilidad) de la película. Por otro lado, el tipo de molde usado para este fin también es relevante puesto que debe ser semi antiadherente para que se pueda despegar fácilmente.

10. RECOMENDACIONES

- Las principales desventajas de las fibras naturales en el refuerzo de los compuestos son la poca compatibilidad entre la fibra y la matriz y su relativa alta absorción de humedad. Por lo tanto, las modificaciones de la fibra natural se consideran al modificar las propiedades de la superficie de la fibra para mejorar su adhesión con diferentes matrices.
- Se necesita generar un recubrimiento o impermeabilizante a través de ceras naturales o resinas al material biocomposite, para evitar el contacto directo con los alimentos. Una impermeabilidad adecuada a la humedad, al oxígeno y a la luz, limita la migración desde los materiales del envase hacia el alimento, por lo que es necesario controlar el tipo y la calidad del envase, con el fin, de impedir que este fenómeno se traduzca en toxicidad para los consumidores.
- El tratamiento con NaOH en este estudio no repercutió positivamente en el desempeño mecánico de la fibra de fique, por lo tanto, se debe modificar algunas condiciones para realizarlo, tales como: concentración de la solución, tiempo de sumersión y temperatura de secado.

- El proceso de elaboración del material composite al ser realizado de forma casera, genera diversos cambios en el grosor y tamaño de las láminas, por lo cual, se recomienda estandarizar estos procesos para obtener resultados más homogéneos a un nivel más técnico.
- Se puede investigar más sobre modificaciones superficiales a la fibra de fique diferente a la alcalinización como silanización y preimpregnación para mejorar la compatibilidad entre refuerzo y matriz.
- Para altos volúmenes de producción es necesario hacer uso del proceso de moldeo por compresión en caliente donde se aplica presión y temperatura para lograr la forma deseada de recipiente o contenedor.

11. EVENTOS DE DIVULGACIÓN

Con el objetivo de divulgar los resultados parciales obtenidos en el proyecto de investigación actual, se participó en el foro académico SABIC 2021, Salón bienal de investigación-creación de la Universidad de Nariño. De igual manera, se estuvo presente en el XVIII encuentro departamental de semilleros de investigación y II encuentro de formación para la investigación Redcolsi- nodo Nariño, el cual es un laboratorio de intercambio de experiencias investigativas para el incremento de competencias y apropiación de nuevas herramientas de investigación. Así mismo, se intervino en el XXIV encuentro nacional y XVIII encuentro internacional de semilleros de investigación - fundación Redcolsi en el que se da a conocer los adelantos de investigación que se han realizado desde los semilleros de investigación dentro y fuera del territorio colombiano. Y por último se formó parte de la muestra de estudiantes bid_est21 del 9º encuentro BID de enseñanza y diseño en donde se enviaron muestras del material, plasmadas en prototipos para exponerse en la Central de Matadero, Madrid-España.



Figura 36. Exhibición de prototipos en la Central de Matadero, Madrid-España

Fuente: Esta investigación

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abengoa. Soluciones tecnológicas innovadoras para el desarrollo sostenible. (2016).

Estructura y función de la lignina. <http://www.laenergiadelcambio.com/estructura-funcion-lignina/>

Aersa, Abastecedora de empacadoras y rastros. (s.f). Selladora de bolsas y su diferencia con una máquina selladora. <https://aersa.net/selladora-de-bolsas-y-su-diferencia-con-una-maquina-selladora/>

Aimplas, (2019). Tipos de materiales compuestos. Valencia, España.

<https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>

Andrade, D., Carvajal M. J. (2017). Alternativas sostenibles de empaques de vino como modelo de negocio. Universidad del Rosario. Administración de empresas, Bogotá.

Amaya, M. C., Cortéz, M., Restrepo, M., Manrique, J., Pereira, M., Gañan, P.,

Castro, I., Zuluaga, R. (2018). Novel Biobased Textile Fiber from Colombian

Agro-Industrial Waste Fiber. School of Engineering, Universidad Pontificia

Bolivariana.School of Architecture and Design, Universidad Pontificia

Bolivariana.Chemical Engineering Department, Universidad de Concepción. Chile.

Medellín.

Aristegui Maquinaria. (2019). El proceso de termoformado en plásticos.

<https://www.aristegui.info/el-proceso-de-termoformado-en-plasticos/>

Arroyave, C. P., Velázquez, E. D. (2001). Aprovechamiento integral de *Furcraea*

macrophylla. Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería de procesos, Medellín.

Azcárate M. F. (2015). Capítulo 4 - Fibras Vegetales y Minerales.

Recuperadode:<https://programadetextilizacion.blogspot.com/2015/01/capitulo-4-fibras-vegetales-y-minerales.html>

Benavides, V. (2015). Diseño del plan de gestión ambiental para la industrial textil Aritex de Colombia S.A. (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).

Biozoyg. (2020). Tazas biodegradables para bebidas calientes. España.

Materialesecologicos.es.<https://materialesecologicos.es/tazas-de-bambu-bebidas-calientes/>

Borrachero, B. (2016). Caracterización de materiales compuestos de fibras de carbono y naturales aplicados para la fabricación de componentes de automoción. (Trabajo fin de master, universidad politécnica de valencia, Campus de Alcoi Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales).

Castro, L., Guzmán, C., & Escalante, H. (2014). Aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, Algunas experiencias de investigación en Colombia. Digestión anaerobia de una biomasa lignocelulósica en Colombia: Bagazo de Fique como caso de estudio. Bogotá, Colombia: Utadeo.

Cedeño, E., Álvarez , R., Cobos, O., Mejía, O., Montalvo, F., Ponce, S., y otros. (2011). Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e industriales. Quito, Ecuador.

Contreras, A., Ramírez, D., Rosero, J., & Fúquene, A. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de fique en Colombia. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural Proyecto Transición de la

Agricultura Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad BioGestión.

Cruz, D. (2006). Guía ambiental del subsector fiquero. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Cadefique Colombia.

Cury, R., Katia, M., Aguas, M., Yelitza, M.sc., Martínez, M., Ana, E., Olivero, V., Rafael, M.sc., Chams, Ch.(2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agroindustrial.Grupo de Investigación Gestión Integral de Procesos, Medio Ambiente y Calidad-GIMAC. Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Bacteriología. Grupo de investigación GIMBIC.

Derek Hull, B.D.C (2003). An Introduction to composite Materials. (Cambridge University press trumpington Street, Cambridge, CB2 1RP.

Diana P. Navia, Alfredo A. Ayala y Héctor S. Villada. (2015). Biocompuestos de Harina de Yuca obtenidos por Termo-Compresión. Efecto de las Condiciones de Proceso. Universidad de San Buenaventura Seccional Cali, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias.

Domínguez, F., Piñeros, L., & Rojas, J. (2009).agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de fique en Colombia.Ing. Investig. vol.29 no.3 Bogotá.

Duque, D. (2011). Phyto, Optimización de los subproductos del Fique. Universidad Icesi, Facultad de Ingeniería, Departamento de Diseño, programa de Diseño Industrial, Cali.

- Durán, J., Morales, M., & Yusti, R. (2005). Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383*. Grupo de Investigación Biotecnología vegetal. Universidad de San Buenaventura Cali.
- Echeverri, R. D. E., Montoya, L. M. F., & Velásquez, M. R. G. (2015). Fique en Colombia. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Echeverri, N., Montoya, U., Zuluaga R., Castro, C., Gañán, P. (2011). Películas de almidón de papa reforzadas con celulosa bacteriana. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín.
- Enriquez, M., Velasco, R., Fernandez, A. (2012). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial
- Farayde Fakhouri. (2020). Creación de envase biodegradable que alarga la conservación de los alimentos. Catalunya: La Vanguardia. https://www.lavanguardia.com/comer/al-dia/20200217/473632884534/envase-biodegradable-alarga-conservacion-alimentos.html?utm_term=botones_sociales_app&utm_source=whatsapp&utm_medium=social.
- Fries, M. A., Posada, P. J., Mora, G. F. J., & Clavijo, T. C. M. (2016). Fortalecimiento y mejoramiento de la cadena productiva y del sector artesanal en Santander.
- Franco, J., Ramirez, P. (2009). Caracterización y evaluación de las propiedades mecánicas del almidón termoplástico (TPS) reforzado con fibras lignocelulósicas, plastificado con etanolamina. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, Bogotá D.C.

- García Lozoya, I. A. (2007). Gestión del Reciclado de los residuos de envases de vidrio generados en San Luis Potosí (Capital), para el desarrollo de nuevos productos. San Luis Potosí, México
- García, O. (2019). Equipo PUCP desarrolla plásticos ecológicos.
<https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticia/transformacion-sostenible/>
- Guerrero, V., Davila, J., Gales, S., Ponton, P., y Rosas, N. (2011). Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales. Primera edición. Quito.
- Guerrero, L. (2008). Estudio de la morfología y las propiedades mecánicas de almidón termoplástico (TPS) plastificado con la mezcla urea-etanolamina y reforzado con nanoarcilla. Universidad de los Andes. Colombia.
- Guzmán, M. (2014). Identificación de necesidades y fortalecimiento de la actividad artesanal en el departamento del cauca, Caracterización del fique, Furcraea Andina. equipo de trabajo artesanías de Colombia.
- Gutiérrez, A, Guirola, C, Martínez, A, Albernas, Y & Villanueva, G. (2020). Valorización de la lignina en el concepto de la biorrefinería. Departamento de Licenciatura en Comunicación Social. Facultad de Humanidades. Y Departamento Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000300095
- Hidalgo, M. A., Muñoz, M. F.(2010). Interacción interfacial del compuesto ldpe/al reforzado con fibra de fique: influencia de la temperatura. Grupo de investigación en tecnologías para la manufactura gitem, Universidad autónoma de occidente, Colombia.

- Hurtado, S.(2017). Estandarización del proceso de obtención de fibra de angustifolia kunth como materia prima para material compuesto. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería mecánica, división de ingenierías. Bogotá D.C.
- Jácome, A. (2015). Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10373>
- Kokini, I., Hwang, J.(1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins, Carboh, Polym.: 19(1), 41-50 (1992).
- Luna, G, Villada, H, Velasco, R. (2009). Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares. Universidad del Cauca.
- Lugae. (s.f). Biomaterial a base de algas. Metodología. Fab Lab Santiago
- Materialesecologicos.es.(2020).Tazas biodegradables para bebidas calientes. Recuperado de:
<https://materialesecologicos.es/tazas-de-bambu-bebidas-calientes/>
- Martínez, H., Pinzón, N., Peña, Y., Acevedo, X., Beltrán, L., González, F., Gonzáles, E., Amezquita, J. (1992-2005). Agroindustria y competitividad. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá.
- Mazón, G. (2017). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25131?locale=en>

- Méndez, M. A., García, D. F. (2017). Material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales para la fabricación de tenso-estructuras. Universidad industrial de Santander.
- Meneses, J., Corrales, C., Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.
- Mesa Muñoz, C., & Uribe Castrillón, J. (2009). Cambios generados en los suelos por la disposición del bagazo de fique (Doctoral dissertation, Universidad EIA).
- Mercedes, J. (2017). Propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón extraído de papa nativa (*solanum tuberosum* L.) variedades “águila” y “shuita”, cultivadas en el distrito de chugay y provincia de sánchez carrión, departamento de la libertad. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Mina, J. (2012). Caracterización físico-mecánica de un almidón termoplástico (tps) de yuca y análisis interfacial con fibras de fique. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 99-109.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2019). Cadena Agroindustrial del Fique, dirección de cadenas agrícolas y forestales. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fique/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>.
- Ministerio de salud y protección social. (2013). Resolución número 0834 de 2013. Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0834-de-2013.pdf>

Muñoz, D. E. (2018). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales del beneficio del fique (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

Muñoz, M. F., Hidalgo, M. A., Hernández, J. M. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial, *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, Colombia.

Navia, D. P., Castillo, H. S. V., & Torres, G. A. (2010). Caracterización morfológica de harina de siete variedades de yuca y polvillo de fique por microscopia óptica de alta resolución-Moar. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(2), 79-85.

Navia, D. (2011). Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique [Tesis de maestría Ingeniería de Alimentos]. *Cali (Colombia): Universidad del Valle*.

Nieves, S., Wieslaw, J., Colorado, H., Cassiano, L., Santos, F., Da silva, L., López, J., García, F., Salgado, F., Pereira, E., Camposo, A., Tonini, N., Souza, M., Demóstenes, L., Oliveira, U., Morais, R., Almeida, w. (2019). Compuestos de polímeros reforzados con fibras naturales aplicados en armaduras balísticas multicapa para protección personal: una descripción general. Parte de la serie de libros *The Minerals, Metals & Materials Series*.

Niño Otálora, L. J., García Torres, A. M., Medina Vargas, O. J., & Rojas Morales, C. I. (2018). Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la

oxidación. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 21(2), 457–466.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1080>

Novamont. (2020). Nuestros productos hechos de MATER-BI, desarrollados a través de la integración de la química, el medio ambiente y la agricultura, garantizan calidad, rendimiento y seguridad. Novamont. Recuperado de:
<https://www.novamont.com/eng/mater-bi>.

Ortiz, A. V. (s.f.). Fibras de origen vegetal [Mensaje de un blog]. Moda y confección.

Recuperado de: <https://abortiz.wixsite.com/textiles/fibras-vegetales>.

Perinat, M. (2001). Tecnología de la confección textil. EDYM.

Pinto Pradilla, C., & Figueroa Quintero, L. P. (2016). *Determinacion Del Comportamiento Mecanico De Un Concreto Adicionado Con Fibra De Figue A Partir De Su Resistencia A La Traccion, Flexion Y Compresion* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales).

Pineda, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rivera, A., Rodriguez M. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. Ingeniería y Ciencia.

Poltec SAS. (2019). Guia completa: beneficios del almidón de yuca y como reconocer su calidad. <https://www.poltecsas.com/post/gu%C3%ADa-completa-beneficios-del-almid%C3%B3n-de-yuca-y-c%C3%B3mo-reconocer-su-calidad>

Quishpillo Amaguaya, S. K., & Moreta Salguero, L. A. (2020). Diseño y construcción de una máquina prototipo para fabricación de platos biodegradables a partir de biomasa (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

RCUP.(s.f). Ashortwalk Ltd.Perranporth, Inglaterra (Reino Unido).Recuperado de:

<https://www.rcup.co.uk/>

Red textil argentina. (2010). Fibras Vegetales [Mensaje en un blog]. Recuperado

de:<http://redtextilargentina.blogspot.com/2010/08/fibras-vegetales.html>

Regina, R. (2021). Diseño orgánico. <https://reginaromero.com/blogs/reginaromero/disenorganicico>

organico

Rios, . (2014). Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de

almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (colocasia antiquorum y

colocasia esculenta) cultivadas en el Estado de Oaxaca. Tesis Ingeniería de

Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Ruiz, J. A. B. (2007). Reducir, reciclar y reutilizar desde la educación física. Wanceulen SL.

Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del

almidón de yuca. Ingeniería y ciencia.

Sculpteo (s.f). Corte por láser: técnica digital para cortar y grabar materiales.

<https://www.sculpteo.com/es/glosario/corte-por-laser-definicion/>

Sandoval, E., Aldana, A & Quintero, A. (2007). Evaluación de la retrogradación del almidón

en harina de yuca precocida. Universidad del Valle. Departamento de ingeniería de

alimentos. Cali.

Salas, S.(2019).Ecodiseño, procesos y materiales para productos destinados a mascotas.

Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Arquitectura y Diseño.Facultad de

Diseño Industrial.Medellín.

- Salgado, D., Paternina, A., Cohen, C., Rodríguez, J. (2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Información tecnológica*, 30(4), 93-102.
- Santiago, M. O., Marín, C. G., & Fernández, J. R. (2003). Los Composites. Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de la Construcción*, 54(484), 45-62.
- Sánchez, J.C. (2003). Materiales fibrosos de base conglomerada. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura.
- Sanz, C. G. C., Leiva, A. F. A., & Ramírez, G. A. S. (2004). Acuerdo para el fomento de la producción y la competitividad del subsector del fique. Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Corpoica.
- Sanz, A. (s.f). Tecnología de la celulosa. La industria papelera. *Química Orgánica Industrial*.
<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Semana, (2017). El relleno sanitario que favorece al medio ambiente. Recuperado de:
<https://www.semana.com/contenidos-editoriales/pasto-tambien-somos-sur/articulo/relleno-sanitario-en-pasto-que-favorece-al-medioambiente/542461/>
- Sindicato Ela, (2011). Consecuencias de la incineración y alternativas. Recuperado de
<https://www.ela.eus/eu/fitxategiak/zaharrak/dokumentuak/Incineracion.pdf>
- Simon, (2019). Diseño orgánico y armonía visual.
<https://www.simonelectric.com/detailers/disenio-organico-y-armonia-visual#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20org%C3%A1nico%20se%20basa,en%20el%20arte%20de%20volar.>

Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 1988. Review: amaranths- an underutilized resource.

International Journal of Food Science and Technology, 23, 125-139

Solano. P., y F Ospina, (2006). Guía ambiental del subsector figuero. Ministerio de

Ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tokpsico, 2016. Hilanderías de Colombia. RECUPERADO DE:

<https://www.youtube.com/watch?v=dzRUrf7HUmk&t=120s>.

Tunjano, V. (2008). Estudio de las propiedades térmicas y mecánicas del almidón

termoplástico (TPS) reforzado con nanoarcilla. Universidad de los Andes.

Departamento de Ingeniería Química. Bogotá.

The Food Tech, s.f. Desarrollarán envases biodegradables con desechos de papa.

<https://thefoodtech.com/historico/desarrollaran-envases-biodegradables-con-desechos-de-papa/>

Usón, J. A. A., & Bribián, I. Z. (2010). Ecodiseño y análisis de ciclo de vida (Vol. 178).

Universidad de Zaragoza.

Universidad de los Andes, 2021. Ingenieros colombianos crean bolsas hidrosolubles con material de almidón de yuca.

<https://www.mundopmmi.com/empaque/sustentabilidad/article/21378162/bolsas-hidrosolubles-a-partir-de-almidn-de-yuca-fueron-creadas-por-ingenieros-colombianos-de-la-universidad-de-los-andes>

Valadez, A. (1999). Efecto del tratamiento superficial de fibras de henequén sobre la

resistencia interfacial fibra-matriz y en las propiedades efectivas de materiales

compuestos termoplásticos. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

- Vargas, P., Martínez, C., & Velezmoro. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima 12, Perú.
- Vázquez, E. (2011). “La gestión del diseño industrial en el manejo de desechos sólidos domésticos en la Ciudad de San Luís Potosí. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad del hábitat. San Luís Potosí.
- Vidal, G., y S Hormazábal, (2016). Las fibras vegetales y sus aplicaciones. Universidad de Concepción. Chile.