

Desarrollo de un material biobasado a partir de residuo de cartón y leche de descarte, una alternativa a los tableros de fibra de densidad media

Catalina Fernández Rodríguez

Profesora guía:
Andrea Wechsler Pizarro

Santiago, Chile
2022



Desarrollo de un material biobasado a partir de residuo de cartón y leche de descarte, una alternativa a los tableros de fibra de densidad media

Catalina Fernández Rodríguez

Profesora guía:
Andrea Wechsler Pizarro

Santiago, Chile
2022

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a la Profesora Andrea por su paciencia y consideración durante todo este proceso, por compartir sus conocimientos y poder llevar adelante un espacio único como lo es el BIOLAB, estoy muy agradecida por haber sido parte de un lugar donde se han desarrollado diversos proyectos y que sus instalaciones fueran parte fundamental del desarrollo de esta investigación.

Agradecer a mis compañeros de Proyecto de Título II y al Biolab en general por toda su ayuda y a animarme a seguir adelante a pesar de todas las dificultades, en particular a Paula quien ha estado desde el principio y ha sido un apoyo fundamental en toda mi carrera universitaria.

Agradecer a mi familia que a pesar de la distancia han estado conmigo, en especial a mi papá y a mi abuelo que ya no están conmigo pero que fueron mi motor durante todo el proceso.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos
Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....10

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....14

1. Diseño para el desarrollo sostenible.....15

1.1 Contaminación a partir del diseño.....15

1.2 Economía circular.....15

1.3 Desarrollo sostenible.....16

1.4 El reciclaje y los residuos domiciliarios.....17

1.5 Materiales compuestos.....18

1.6 Criterios para la elección del residuo.....19

1.7 Materiales compuestos basados en derivados de madera19

1.8 Caseína21

1.9.2 Problemática de los tableros de fibra.....21

2. Cartón corrugado como residuo de fibra celulósica.....22

2.1 Fabricado de papel.....22

2.2 Fabricado de cartón23

2.2.1 Cartón corrugado.....24

2.2.2 Tipos de cartón corrugado.....24

2.2.3 El reciclaje del cartón.....25

2.2.4 Criterios de sustentabilidad.....25

III MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....27

1. Etapa I: Análisis y desarrollo experimental para la obtención

del material compuesto.....29

Actividad 1.1: definición del tratamiento del residuo, procesamiento y granulometría.....29

1.1.1 Recolección del residuo.....29

1.1.2 Procesamiento del residuo seco y húmedo.....29

1.1.3 Análisis granulométrico de la fibra30

Actividad 1.2: Definición del aglomerante y proceso de conformación a utilizar junto con la fibra de cartón30

1.2.1 Análisis práctico de los aglomerantes que cumplen con los criterios para conformar el material compuesto.....30

Actividad 1.3: Definición proporciones de fibra, aglomerante y método de secado del material compuesto.....32

1.3.1 Análisis práctico para la selección de las proporciones de fibra y aglomerante a utilizar en el material compuesto.....32

2. Etapa II: Caracterización y validación del material compuesto.....34

Actividad 2.1: Ensayos de propiedades físicas.....34

2.1.1 Desarrollar ensayos de densidad, absorción de agua e hinchamiento.

Actividad 2.2: Ensayos de propiedades mecánicas.....35

2.2.1 Realizar ensayos de flexión y tracción.....35

Actividad 2.3: Ensayos de trabajabilidad, moldeado y coloración36

2.3.1 Desarrollar ensayos de mecanizado, moldeabilidad, coloración, corte y grabado láser.....36

Actividad 2.4: Ensayos de resistencia a agentes externos.....37

2.4.1 Desarrollar ensayos de envejecimiento natural y degradación del material compuesto.....37

Actividad 2.5: Evaluación perceptual del material.....38

2.5.1 Desarrollar evaluación perceptual del material a diferentes focus grup.....38

3. Etapa III: Validación del material compuesto biobasado.....	40	Actividad 2.5: Evaluación perceptual del material.....	62
Actividad 3.1 Propuestas de aplicación.....	40	2.5.1 Desarrollar evaluación perceptual del material a diferentes focus group.....	62
3.1.1 Evaluación y selección de propuestas de aplicación.....	40	3. Resultados etapa III: Validación del material compuesto biobasado..	64
3.1.2 Desarrollo de propuesta conceptual.....	40	Actividad 3.1 Propuestas de aplicación	64
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41	3.1.1 Evaluación y selección de propuestas de aplicación.....	65
1. Resultados etapa I: Análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto.....	42	Actividad 3.2 Elaboración de propuestas	65
Actividad 1.1: Definir modo de obtención del residuo, procesamiento y granulometría	42	3.1.2 Desarrollo de propuesta conceptual	66
1.1.1 Recolección del residuo.....	42	V. CONCLUSIÓN Y PROYECCIONES	72
1.1.2 Procesamiento del residuo seco y húmedo.....	42	1. Conclusión	73
1.1.3 Análisis granulométrico de la fibra	44	2. Proyecciones.....	74
1.1.4 Selección del formato de fibra a utilizar en el material compuesto..	44	Lista de referencia.....	75
Actividad 1.2: Definir componentes del material a utilizar junto con la fibra de cartón	45		
1.2.1 Análisis práctico de los aglomerantes que cumplen con los criterios para conformar el material compuesto.....	45		
Actividad 1.3: Definir proporciones de fibra y aglomerante	45		
1.3.1 Análisis práctico para la selección de las proporciones de fibra y aglomerante a utilizar en el material compuesto.....	45		
1.3.2 Obtención de la mezcla final.....	47		
2. Resultados etapa II: Caracterización y validación del material compuesto.....	52		
Actividad 2.1: Ensayos de propiedades físicas	52		
2.1.1 Desarrollar ensayos de densidad, absorción de agua e hinchamiento.....	52		
Actividad 2.2: Ensayos de propiedades mecánicas	55		
2.2.1 Realizar ensayos de flexión y tracción	55		
Actividad 2.3: Ensayos de trabajabilidad.....	55		
2.3.1 Desarrollar ensayos de mecanizado, moldeabilidad, coloración, corte y grabado láser.....	56		
Actividad 2.4: Ensayos de resistencia a agentes externos	60		
2.4.1 Desarrollar ensayos de envejecimiento natural y degradación del material compuesto.....	60		

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Economía lineal. Elaboración propia basado en (Reyes, 2021).

Figura 2: Economía circular. Elaboración propia basada en (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Figura 3. Desarrollo sostenible y sus interrelaciones. Fuente: Elaboración propia basada en (Madroñero et. al, 2018).

Figura 4. Rueda del Desarrollo Sostenible. Fuente: (ONU, 2015).

Figura 5. Proceso de recolección. Fuente: Elaboración propia basado en (MMA,sf).

Figura 6. Fibras naturales según su origen. Fuente: (John y Thomas, 2008).

Figura 7. Aditivo de madera. Fuente: (Frugone, 2017).

Figura 8. Tablero de madera. Fuente: (Zapata, 2005).

Figura 9. Fabricación de papel. Fuente: Elaboración propia basada en (Espinoza, 2022).

Figura 10. Fabricación del cartón corrugado. Fuente: (KARTON KRAFT, 2016).

Figura 11. Tipos de cartón. Fuente: Elaboración propia basada en (Rajapack,2018).

Figura 12. Herramientas de ecodiseño de productos. Fuente: (Agrelo, 2018).

Figura 13. Molino de martillo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Cartón cortado en trozos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Tamices. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Materiales. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Probetas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Ensayo degradabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Proceso de recolección del residuo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Procesamiento del residuo seco y húmedo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Proceso de obtención de la fibra de cartón Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Tamizado del residuo (18 y 35 mesh). Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Resultado muestra CC. Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Proceso mezcla inicial. Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Resultados materiales compuesto. Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Resultados proporciones. Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Caseína y cartón. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Probeta CCA. Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Proporción de componentes Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Proceso final material compuesto CCA. Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Registro conformación del material. Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Registro probetas de absorción e hinchamiento. Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Ensayo tracción. Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Ensayo flexión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Perforado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Corte. Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Lijado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Moldeado 1. Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Moldeado 2. Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Proceso de coloración, resultado húmedo y seco. Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Grabado láser. Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Resultado Envejecimiento natural. Elaboración propia.

Figura 43. Nivel sensorial. Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Nivel afectivo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Nivel interpretativo, Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Grupo A. Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Grupo b. Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Moodboard. Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Moodboard del concepto. Fuente: Elaboración propia.

Figura 50: Bocetos preliminares. Fuente: Elaboración propia.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para la selección del residuo fibroso. Fuente: Elaboración propia basada en (Molina, 2017)

Tabla 2. Resumen de componentes de recetas finales. Fuente (Gutiérrez & Barraza, 2021).

Tabla 3 Potenciales usos de la caseína y sus propiedades. Fuente: Elaboración propia basada en (Cid, 2017)

Tabla 4. Tipos de pasta. Elaboración propia basado en (Aguilar, 2004).

Tabla 5. Etapa I: Análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto. Elaboración propia.

Tabla 6. Análisis de aglomerantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Requerimientos del aglomerante. Fuente: Elaboración propia

Tabla 8, Nivel de logro. Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Análisis de proporciones. Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Criterios para la selección de muestra final. Elaboración propia.

Tabla 11. Etapa II: Caracterización y validación del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Datos técnicos herramientas de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Registro de degradación del material. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Etapa III: Validación del material compuesto biobasado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Resultado del análisis granulométrico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Requerimientos que debe cumplir el aglomerante. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Nivel de logro de los requerimientos que debe cumplir el aglomerante. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. probetas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resultados de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Resultados ensayos de densidad. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Resultados de hinchamiento Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Resultados de tracción. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resultados de Flexión. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Degradación del material. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Requerimientos y atributos. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Chile está entre los países con mayor producción anual de basura en Latinoamérica. El principal factor causante del desperdicio de material en nuestro país corresponde al comportamiento del consumidor y la falta de coordinación entre los distintos participantes en la cadena de producción, distribución y consumo. En general la población no sabe dónde van sus residuos que son generados a diario, la mayoría de estos residuos son depositados en bolsas de basura y son transportados para su disposición final en algún lugar establecido, como los rellenos sanitarios, con su consecuente riesgo ambiental.

PROBLEMÁTICA

El reciclaje es una de las prácticas que se ha visto afectada a causa del Coronavirus. Según los datos que pudo recoger la Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (2020) la recolección de residuos reciclables disminuyó entre un 30% y un 45% durante la pandemia. Por otra parte, al alza en el comercio en línea y las ventas con entrega a domicilio, ha generado una sobredemanda de envases y empaques de cartón. El servicio de reciclaje no se ha podido encargar de cubrir esta alza de residuos que se ha generado, debido al cierre de diferentes puntos limpios a lo largo de todo Chile.

En Chile se pueden llegar a producir alrededor de 770.000 toneladas de cartón y papel cada año, del cual 380.000 toneladas finalizan su ciclo de vida en rellenos sanitarios, provenientes en su mayoría de residuos domiciliarios (ANIR, 2020).

A comienzos de la década, el precio a pagar en las valorizadoras de cartón reciclado rondaba los \$30 por kilo, durante el 2019 los precios disminuyeron con un pago de \$20 por kilo (Pérez, 2020). Hoy en día, según datos de Reciclean (2022) el precio del cartón reciclado ronda los \$5 pesos en la región Metropolitana, un valor mucho menor al que se paga en regiones como Talca, en donde el precio por kilo de cartón ronda los \$30 pesos.

Se puede identificar fácilmente una centralización respecto al funcionamiento de las empresas de reciclaje que operan en Chile, ya que el 78% de estas empresas se establecen en la región metropolitana (Cortés, 2022). Estos datos pueden responder al bajo costo del cartón ya que existe una alta demanda en el servicio de reciclaje.

Los recicladores de base de la región metropolitana (The Clinic, 2020) afirman que las valorizadoras tienen un cierto stock de material y la justificación que dan para bajar los precios es que se encuentran sobrepasados. El problema mencionado ocurre porque hay exceso de materia prima en fábricas, por lo que reducen la compra y bajan el precio a pagar a los intermediarios (ANSOL, 2022).

De esta manera se puede entender que el reciclaje en Chile se rige por un criterio de oferta y demanda, más que por la necesidad medioambiental de gestionar los residuos adecuadamente.

Frente a la problemática mencionada se plantea la oportunidad de este proyecto, que está en dar pie a la revalorización del residuo de cartón más allá de su venta a empresas de reciclaje, poder conocer sus posibilidades y límites como material compuesto y posteriormente proponer nuevas alternativas para reinsertar el residuo dentro de la lógica de economía circular.

El cartón que se compone principalmente por celulosa se caracteriza por ser 100% biodegradable y reciclable, también por ser ideal para ser parte del proceso de compostaje. Los tableros de fibra (MDF) son hechos a base de madera junto con aditivos como parafina y resina UF, se someten a altas temperaturas y se prensa para endurecer (Costa et al., 2014). El proceso de fabricación del MDF genera emisiones de formaldehído, un componente que se conoce por ser "cancerígeno conocido" (Hernández, 2022).

Pregunta de investigación

¿Es posible desarrollar un material compuesto amigable con el medio ambiente, que incentive la revalorización de residuos de cartón corrugado y sea menos nocivo que los tableros de fibra de densidad media?

Hipótesis

El cartón corrugado debido a sus componentes biodegradables es una materia prima que siendo unidos con aglomerantes naturales podrá ser factible para la fabricación de nuevos materiales. Por otro lado, el cartón al estar conformado por fibras derivadas de madera al igual que el MDF, el material puede llegar a obtener propiedades similares y ser una alternativa más sustentable.

Objetivo general

Desarrollar y analizar un material compuesto basado en residuos de cartón corrugado, que incentive la revalorización y la reinserción del residuo dentro de la economía circular.

Objetivos específicos

- 1.- Caracterización de las propiedades del residuo seleccionado para el desarrollo de un material de bajo impacto ambiental.
- 2.- Seleccionar aglomerantes y definir proporciones para la preparación del material basado en los criterios de fabricación propuestos.
- 3.- Evaluar el impacto sobre las propiedades físico-mecánicas del material fabricado y caracterizar las posibilidades constructivas aplicando una encuesta de evaluación perceptual.
- 4.- Validar el material por medio de propuestas de diseño

Resumen métodos

El proyecto se divide en 3 etapas;

La primera etapa consta del análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto. La principal actividad es seleccionar la forma de obtención y procesamiento del residuo, también se determina el aglomerante que mejor cumple los criterios de selección establecidos en el primer capítulo. Se define la composición final del material basándose en las propiedades de las mezclas obtenidas.

La segunda etapa se enfoca en la caracterización y validación del material compuesto. En esta etapa se desarrollan los ensayos físicos, mecánicos, de trabajabilidad y de resistencia a agentes externos. También se analizan sus posibilidades constructivas mediante una evaluación perceptual.

La tercera etapa es la generación de propuestas de diseño para validar el material compuesto biobasado, en esta etapa se define el concepto, el arquetipo y se aplican al diseño de bocetos preliminares y para finalizar se genera una estrategia creativa para determinar el proceso de diseño.

Los métodos planteados se basaron en una investigación cualitativa, cuantitativa y experimental.

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. DISEÑO Y DESARROLLO SOSTENIBLE

1.1 Contaminación a partir del Diseño

Solo el 16% de los desechos totales en el mundo son reciclados, equivalentes a 323 millones de toneladas y entre ellos están los residuos industriales, urbanos, médicos, radiactivos, agrarios y más (Maplecroft, 2021). El Diseño es parte fundamental de la insostenibilidad que generan sus producciones, dentro de las toneladas de desechos que día a día contaminan el planeta podemos encontrar algunos como ropa, papel, madera, plástico, objetos tecnológicos, metálicos y bisutería. Los residuos se pueden producir a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, donde además podemos encontrar sistemas y procesos que influyen en la contaminación (Reyes, 2021).

Huerta menciona (2014) que el diseño en su proceso creativo, activa movimientos de materiales y flujo de energía, el cual causa una alteración del medio ambiente. En vista de que las decisiones que se toman en el diseño tienen alto impacto, de igual forma pueden aportar a minimizarlo si se integra un conocimiento adecuado. A partir de lo mencionado, Reyes (2021) afirma que la toma de decisiones en la etapa de diseño, define el 90% del impacto ambiental de un producto, además del impacto económico y social. También agrega que la lógica de la economía lineal que se basa en producir, consumir y desechar (ver figura 1), está siendo cuestionada porque provoca la degradación natural y social.

El modelo de una economía lineal causa que en el siglo XXI sean mayores las voces que buscan establecer una transición moderada a un capitalismo verde, donde se debe avanzar a una era del crecimiento económico que integre el desarrollo sostenible (Reyes, 2021). El modelo lineal no considera la huella de carbono que se genera dentro de los procesos, la extracción responsable, ni la perdurabilidad de los objetos (Alvarado et al., 2015).



Figura 1: Economía lineal. Elaboración propia basado en (Reyes, 2021)

1.2 Economía circular

La economía circular llegó a cambiar el estilo de economía lineal por un modelo regenerativo y cíclico, inspirado en la naturaleza, donde además este modelo podría aportar en el ámbito empresarial. (Hermida y Domínguez, 2014). Una inspiración de los modelos de pensamiento de la economía circular fue la filosofía de diseño “De la Cuna a la Cuna” (McDonough y Braungart, 2003) que presentó la adaptación de la economía circular (ver figura 2) al mundo de la producción industrial y el ecodiseño.

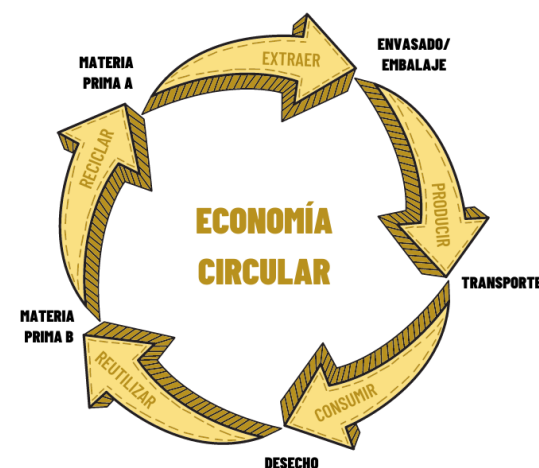


Figura 2: Economía circular. Elaboración propia basada en (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

1.3 Desarrollo sostenible

El término de desarrollo sostenible considera la interacción de componentes políticos, sociales, económicos y ecológicos, donde esta interacción se establece de forma equilibrada (Madróñero et. al, 2018). El informe de la ONU detalla que “está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (ONU, 1987, p. 59) de esta manera, se entiende que el desarrollo sostenible conlleva a que la sociedad debe ser capaz de alcanzar el desarrollo económico y social sin dañar el medio ambiente de forma permanente (Dalal-Clayton & Bass, 2002).

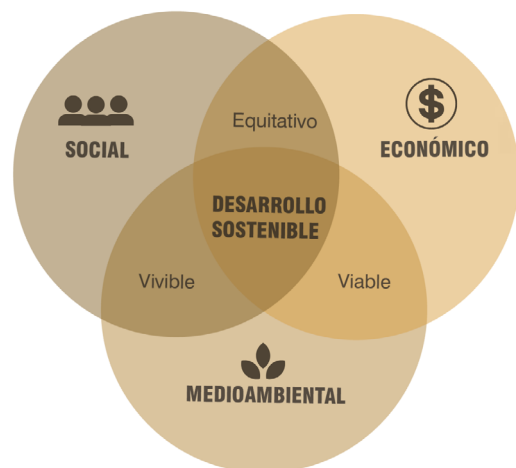


Figura 3. Desarrollo sostenible y sus interrelaciones. Fuente: Elaboración propia basada en (Madróñero et. al, 2018).

La ONU (2015) estableció la agenda 2030 donde presenta una perspectiva ambiciosa para el desarrollo sostenible compuesta por su estructura social, ambiental y económica. Esta agenda se establece con 17 objetivos con el fin de instaurar la dignidad y la igualdad de las personas como prioridad, haciendo un llamado a reorganizar la forma de desarrollo a la que estamos acostumbrados y a respetar el medio ambiente. Estos objetivos son resumidos en la rueda del desarrollo sostenible (ver figura 4) presentado por el programa de las naciones unidas por el desarrollo (2015).



Figura 4. Rueda del Desarrollo Sostenible. Fuente: (ONU, 2015).

Villamizar (s.f) resume los criterios del desarrollo sostenible afirmando que:

- Los recursos renovables no deben de utilizarse a un ritmo mayor al de su regeneración ambiental.
- Las emisiones de agentes contaminantes no deben producirse a una velocidad mayor al de su capacidad de reciclaje.
- Las tasas de recursos no renovables no deben sobrepasar lo necesario para ser sustituido por uno renovable desarrollado de forma sostenible.

1.4 El reciclaje y los residuos domiciliarios

Según la ley REP de fomento al reciclaje (2018) solo son incorporados 6 residuos prioritarios (envases y embalaje, aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, pilas, baterías y neumáticos), todos ellos son de procedencia inorgánica. Esto deja fuera un residuo altamente valorizado, los residuos orgánicos, que según informa el Ministerio del Medio Ambiente (2018) el 58% de estos residuos orgánicos provoca los principales impactos en la basura que se va a rellenos sanitarios, como los malos olores y emisiones de gases de efecto invernadero por la descomposición anaeróbica.

Aproximadamente el 40% de los residuos que son producidos en Chile provienen de los hogares, y solo un 1% es reciclado. El desafío que plantean estas cifras y la Ley REP (normativa), es de gran importancia la forma en que se recolecta para lograr rescatar la mayor valorización de residuos que se encuentra contenido en ese 40%. (Maldonado, 2022)

La gestión de residuos reciclables se compone de varias etapas. Comienza con la compra por parte del consumidor quien tiene la opción de tirarlo a la basura o separar el residuo; Si el residuo es separado tiene la opción de llevarlos a puntos limpios de reciclaje, campañas o programas donde recogen los residuos puerta a puerta; Posteriormente, se clasifica y se vende a empresas recicladoras que convierten el residuo en materia prima para ser vendido a industrias manufactureras que fabrican nuevos productos (MMA, sf).

Recicladores de base

Los recicladores de base son un actor clave para la economía circular y el reciclaje, en Chile hay alrededor de 60,000 recicladores de bases que se dedican a la recolección, selección, recuperación, transformación, comercialización y reutilización de residuos sólidos (MMA,2015).

Se precisa que el reciclar periódico, cartón y papel ahorra un 40% de energía, al igual que el vidrio; los plásticos ahorran un 70% de energía; el aluminio ahorra un 95%; el acero reciclado ahorra un 60% de energía y un 40% de agua. (BBVA, sf).

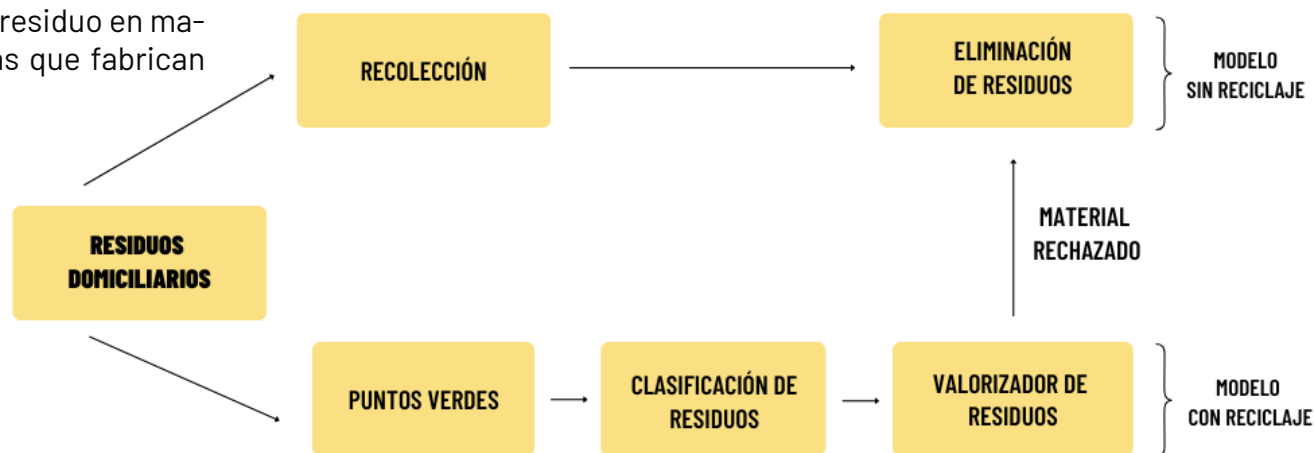


Figura 5. Proceso de recolección. Fuente: Elaboración propia basado en (MMA,sf).

1.5 Materiales compuestos

El término de “material compuesto” se aplica a toda combinación de materiales que integra la unión de dos o más elementos dando como resultado un nuevo material con características específicas (Miravete & Castejón, 2002). Dentro de este se puede identificar la fibra y la matriz, la fibra es el refuerzo que proporciona propiedades mecánicas de rigidez y resistencia. La matriz es el que aglutina y atrapa la fibra, su objetivo es transferir la carga, proteger de agentes químicos y condiciones medioambientales (AIMPLAS, 2018).

Materiales compuestos naturales

El surgimiento de materiales amigables para el medio ambiente se justifica por la necesidad de sustituir los materiales que se generan a partir de recursos no renovables, dado que concentran una huella de carbono significativa y degradación a largo plazo. (Wambua, et al. 2003) En la búsqueda de fibra y matrices orgánicas, se requiere principalmente que den como resultado propiedades mecánicas similares a la de los materiales comunes (Faruk, et al. 2012).

Fibras naturales

Las fibras naturales se categorizan como materiales lignocelulósicos, ya que están compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, en menor porcentaje también puede ser de pectina y elementos orgánicos de bajo porcentaje molecular (Sarip, et al. 2016). Los materiales que son reforzados con fibras naturales pueden ser generados a un bajo costo utilizando la mano de obra local y técnicas apropiadas para su recolección. Algunas fibras como las que provienen de la madera pueden ser reforzadas químicamente para potenciar sus propiedades (Juárez, et al. 2004).

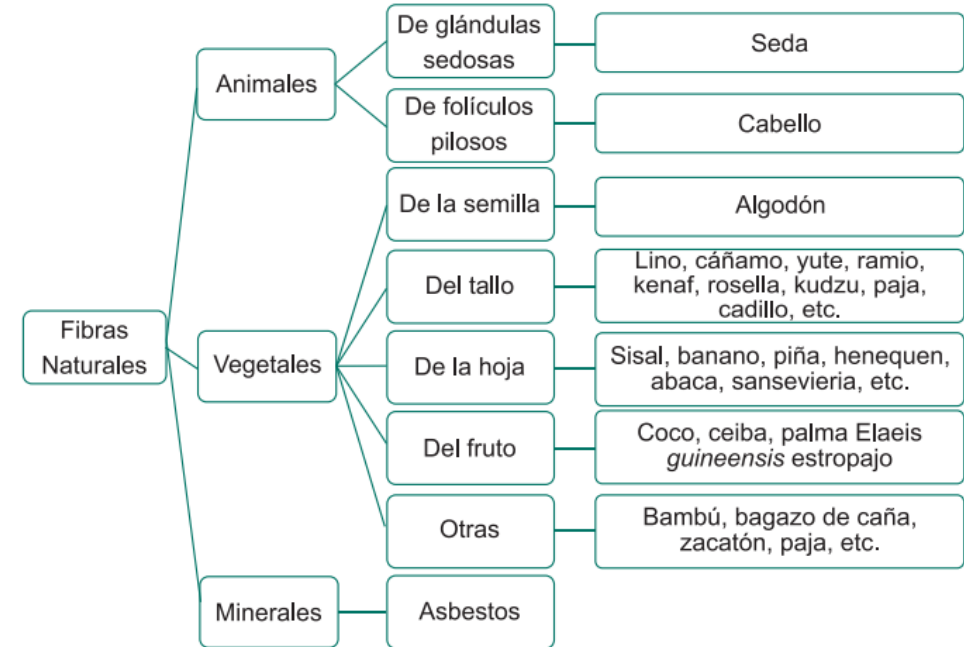


Figura 6. Fibras naturales según su origen. Fuente: (John y Thomas, 2008).

Cuanto más estrecha sea la fibra, los materiales compuestos presentan mejor resistencia, debido a que la probabilidad de encontrar imperfecciones como grietas o fracturas es menor (Giannelis et al.1997). Hay amplia gama de fibras naturales que se pueden utilizar para la fabricación de materiales compuestos y se pueden clasificar según su origen como se aprecia en la figura 6 (John y Thomas, 2008).

1.6 Criterios para la elección del residuo

Es importante poder definir los criterios de la elección del residuo para poder tener conocimientos con lo que se está trabajando, es necesario saber su origen para abordar su problemática y cuánto es lo que se genera. También es necesario saber de qué manera se puede procesar y de qué manera se puede obtener. Es por esto que en la tabla 1 se definieron los criterios para seleccionar el residuo fibroso y sus requerimientos.

Tabla 1: Criterios para la selección del residuo fibroso. Fuente: Elaboración propia basada en (Molina, 2017).

Criterio	Requerimientos del residuo fibroso
Origen del residuo	Abarca una problemática
	El residuo se genera en cantidades suficientes para ser utilizado
Procesamiento del residuo	El residuo se puede obtener localmente
	Se puede procesar fácilmente
	Se puede obtener seco y limpio
Experimentación con el residuo	El residuo es estable (no se deshace o desgrana)
	El residuo no es nocivo para la salud
Fin de vida	El residuo se puede reciclar o compostar

1.7 Materiales compuestos basados en derivados de madera

Investigador: Mauricio Frugone (2017).

Corresponde a la manufactura aditiva con filamento hecho con madera propuesto por Mauricio Frugone en su proyecto de título el año 2017 propuesto para optimizar la percepción emocional y expresiva en objetos impresos en 3D centrándose, en la forma y acabados.



Figura 7. Aditivo de madera. Fuente: (Frugone, 2017)

Investigadora: Claudia Zapata (2005).

Consta de los efectos que tiene el pinus radiata y especies nativas en los tableros OSB, propuesto por Claudia Zapata el año 2005 para su proyecto de título.



Figura 8. Tablero de madera. Fuente: (Zapata, 2005).

Se presentan los referentes que se utilizarán para la elaboración del material. Ya sea en la utilización de la materia orgánica o componentes que puedan corresponder a las propiedades que se desea conseguir en el material a desarrollar. También las formas de procesamiento e instrumentos que puedan ser utilizadas para la obtención del residuo.

Título del proyecto: Compuesto basado en papel para la impresión 3D.
Investigadores: David Gutiérrez y Sebastián Barraza (Universidad de Chile).

Procesamiento del residuo en seco:

“Se trituraron en un molino de martillo marca G-tools, modelo wf-1500a2 y utilizando tamices de 2 mm, 0.5 mm y 35 mesh, se procesaron 75 grs de papel previamente troceado en cuadrados de aproximadamente 10 mm para optimizar el proceso de molienda. Las fibras obtenidas fueron tamizadas con mallas de los granos entre los 10 mesh y 325 mesh” (Gutiérrez & Barraza, 2021).

Resultado de molienda y tamizado:

“De la totalidad del material, tan solo el 5 % responde a la característica ideal de ser una fibra pulverizada fina y es aquella retenida entre los tamices 100 y 325 mesh. En su defecto, producto de la disponibilidad porcentual, se considera conveniente utilizar todas las fibras de un grano inferior a 0,5 mm o 35 mesh donde se encuentra en suma el 55 % del material procesado” (Gutiérrez & Barraza, 2021).

Tabla 2. Resumen de componentes de recetas finales. Fuente (Gutiérrez & Barraza, 2021).

	Nombre	Ingredientes	proporciones (%)
Receta 1	PVAA	Papel (g)	9.5
		Agua (ml)	79.1
		Almidón (g)	2.4
		Vinagre (ml)	6.3
		PVA (g)	2.4
		propionato de calcio (g)	0.4
Receta 2	PVAG	Papel (g)	8.6
		Agua (ml)	83.3
		PVA (g)	5.0
		Glicerina (ml)	3.3

1.8 Caseína

La caseína es extraída de la lactosa mediante un proceso de precipitación con algún tipo de ácido, la caseína tiene la capacidad de moldearse, ser impermeable y cuando se procesa con formaldehído es dura e insoluble (Cid, 2017).

Tabla 3: Potenciales usos de la caseína y sus propiedades.
Fuente: elaboración propia basada en (Cid, 2017)

Producto	Propiedad	Aplicación
Envoltura de caseína	<ul style="list-style-type: none">● Crea películas● Buena adherencia	<ul style="list-style-type: none">● Textil● Papel● Embalaje● Terminaciones del cuero
Aglomerante de caseína	<ul style="list-style-type: none">● Manejable● Mejora la adhesión● Resiste al agua	<ul style="list-style-type: none">● Pegamentos con base acuosa
Plástico de caseína	<ul style="list-style-type: none">● Buen procesado● Resistencia mecánica● Resiste al agua	<ul style="list-style-type: none">● Plástico rígido o flexible

1.9 Problemática de los tableros de fibra

Los tableros de fibra (MDF) son hechos a base de madera junto con aditivos como parafina y resina UF, se someten a altas temperaturas y se prensa para endurecer (Costa et al., 2014). El proceso de fabricación del MDF genera emisiones de formaldehído, un componente que se conoce por ser "cancerígeno conocido" (Hernandez, 2022).

El MDF puede afectar la salud debido a que el formaldehído por el que se compone también se desprende cuando el MDF se corta, en consecuencia, podría causar problemas pulmonares e irritación ocular. Además, el residuo de MDF es combustible, por lo que puede causar incendios. Por otra parte, la acumulación de este residuo puede causar un foco de hongos y propagación de plagas, afectando al medio ambiente (García, 2014).

2. CARTÓN CORRUGADO COMO RESIDUO DE FIBRA CELULÓSICA

2.1 Fabricado de papel

El papel se conforma básicamente de un entramado de fibras celulosas que se conectan a partir de enlaces de hidrógeno. El compuesto no celulósico se separa a partir de la preparación de la pasta de papel y esto hace que las fibras incrementen su resistencia a la tracción, flexión, estabilidad química y a la adherencia de aditivos en la elaboración (Gonzalez, et al. 2016).

La fabricación de papel se puede dividir en tres etapas, la primera etapa consiste en la preparación de la pasta dónde se clasifica, limpia y refina la materia prima. La segunda etapa que se identifica como el circuito de aproximación, se basa en el transporte y limpieza final. La tercera etapa consta de la formación del papel en la máquina de fabricación, que se divide en dos sectores, extremo húmedo y extremo seco. Se puede apreciar en el esquema (ver figura 9) el resumen de las etapas desde la obtención del suministro hasta el producto final (Espinoza, 2022).

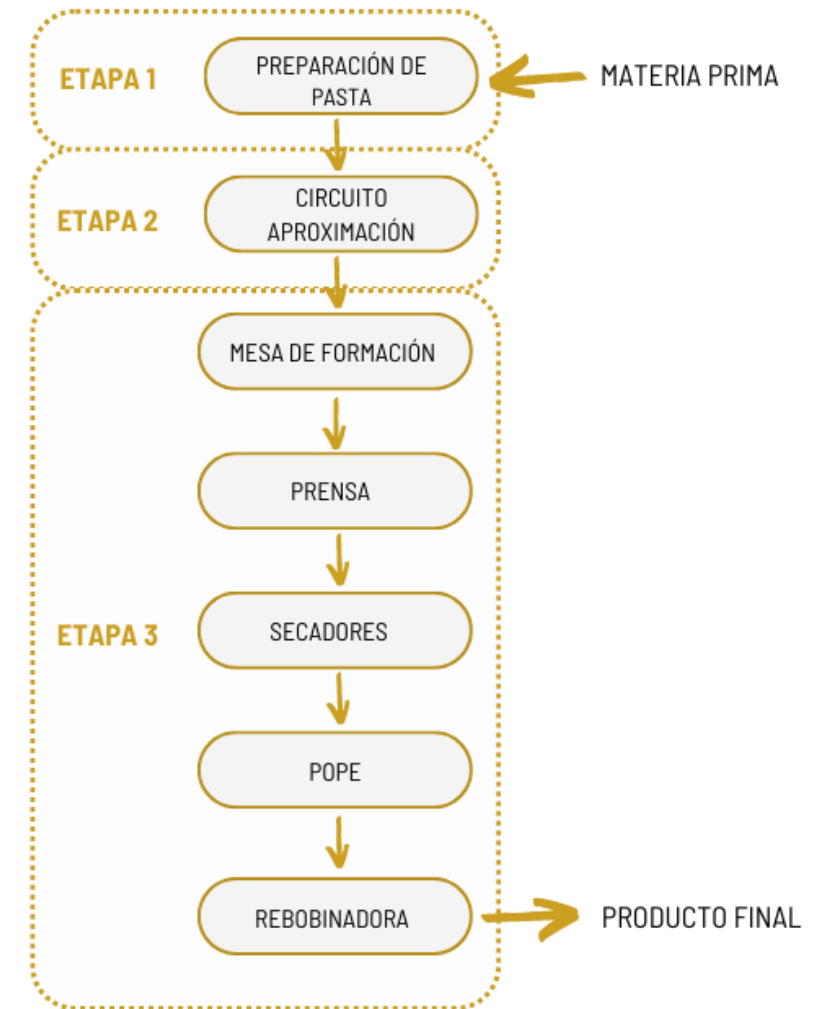


Figura 9. Fabricación de papel. Fuente: Elaboración propia basado en (Espinoza, 2022)

2.2 Fabricado de cartón

Según la definición de la real Academia Española (2001) el cartón es un “conjunto de varias hojas superpuestas de pasta de papel que, en estado húmedo, se adhieren unas a otras por compresión y se secan después por evaporación”. Se manufacturan de fuentes totalmente renovables y biodegradables. Cuadruplican la energía y el agua usadas para crear y distribuir films plásticos y, por lo general, perduran menos. Para fabricar papel o cartón a partir de la celulosa virgen se necesita madera, agua y energía (Aguilar, 2004).

Los cartones usualmente utilizan 3 tipos de pasta, química, mecánica y pasta de fibras recicladas que se distinguen en la tabla 4.

Tabla 4: Tipos de pasta. Elaboración propia basado en (Aguilar, 2004).

Tipo de pasta	Extracción
Pasta química	Las fibras son extraídas de la madera agregando químicos que desintegran la lignina.
Pasta mecánica	Las fibras son extraídas de la madera a partir de un proceso mecánico (discos o cilindros) para conseguir fibras individuales.
Pasta de fibras recicladas	Las fibras se consiguen a partir de la recolección selectiva del residuo de papel y cartón.

Propiedades del cartón basadas en (Diario de Tarragona, 2018):

- **Durabilidad/Resistencia:** Se puede pensar que el cartón no parece muy resistente, de hecho, son sus propias fibras las que hacen que lo sea, de este modo no se romperá con facilidad y resistirá mucho más. Es gracias a su resistencia que es capaz de aguantar todos los procesos de su creación mencionados anteriormente.
- **Rigidez:** su capacidad de rigidez por unidad de peso que ofrece el cartón es bastante alta. De este modo es posible proteger cualquier cosa que se introduzca en su interior sin que llegue a romperse.
- **Adaptabilidad:** es posible doblar y cortarlo de una forma muy rápida y segura, así se consigue hacer distintos tipos de embalajes o llegar a imprimir sobre él.
- **Aislamiento:** como la energía y el calor no circula bien sobre las fibras de madera, es un gran aislante para los distintos tipos de cambios climáticos.

2.2.1 Cartón corrugado

El cartón corrugado es la materia prima más requerida en la industria del envase. Disponible en una gran variedad de formas, tamaños y resistencias, posee además una excelente presentación visual. Tiene ventajas de una elevada relación rigidez - peso y eficiencia volumétrica. Esta última, le permite reducir sustancialmente el costo de transporte y de almacenamiento. Otra ventaja importante es su composición ya que se fabrica tanto a partir de materia prima de primer uso (fibras celulósicas vírgenes) como de materia prima post consumo (fibras celulósicas secundarias o recicladas), mejorando su relación costo-beneficio (TRUPAL, 2020)

Según Safe Load Testing (2020) el cartón corrugado es el preferido para realizar los envíos de paquetería debido a las ventajas que presenta como, los menores costes económicos, su versatilidad, automatización y menor impacto ambiental que otros materiales.

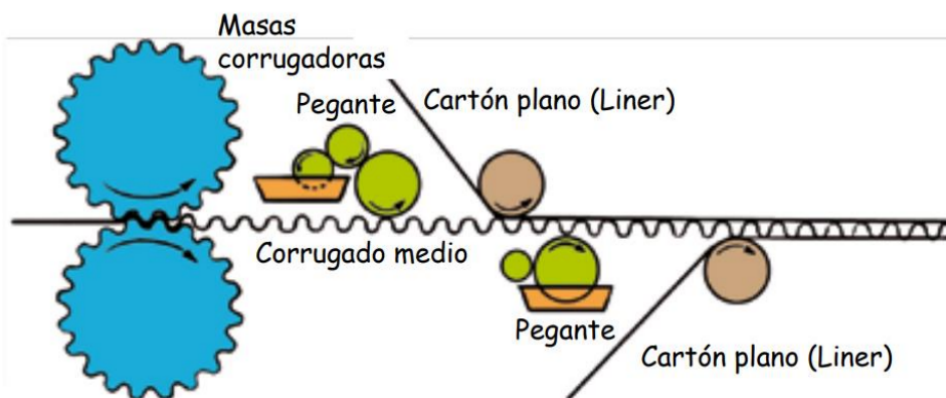


Figura 10. Fabricación del cartón corrugado. Fuente: (KARTON KRAFT, 2016).

2.2.2 Tipos de cartón corrugado

Se pueden distinguir 4 tipos de cartón corrugado, del tipo mono tapa, simple, doble y triple.

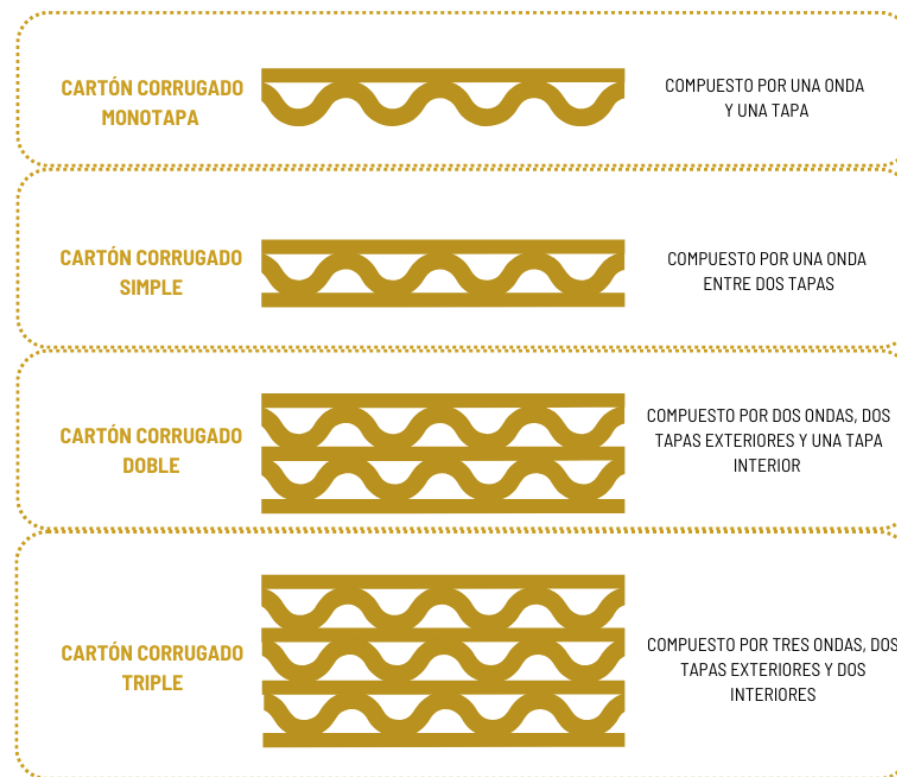


Figura 11: Tipos de cartón. Fuente: Elaboración propia basada en (Rajapack,2018).

2.2.3 Reciclaje del cartón

El reciclaje es un proceso simple que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o consumo (ver figura 12), ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente (Henao, 2013). Para la fabricación de cartón reciclado se tiene una proporción general de cartón 60%, periódico 25% y bond 15%. La temperatura de la pulpa afecta la velocidad de refino e influye en la calidad del papel; al ser más baja la temperatura, más fácilmente se refina la pasta y el refino aumenta la resistencia a la tracción (Reyna, Robles, Toyohama, & Canales). También el cartón reciclado es usado para la construcción en obras civiles. En el mercado internacional el uso de papel y cartón va dirigido en su mayoría a aislar acústica y térmicamente las edificaciones debido a propiedades que avalan este uso (Espinal, 2016).

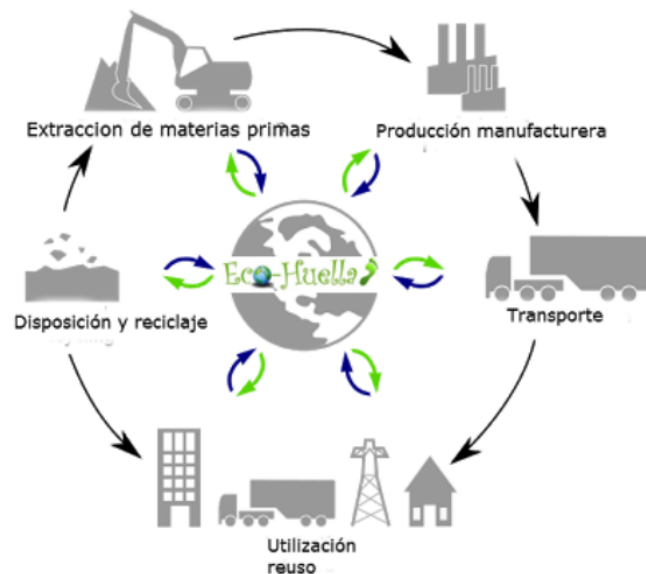


Figura 12. Herramientas de ecodiseño de productos. Fuente: (Agrelo, 2018).

2.2.4 Criterios de sustentabilidad

Los criterios de sustentabilidad serán aplicados para fijar los parámetros para el desarrollo del material compuesto biobasado. Aplicar criterios de sustentabilidad ayuda a la adecuada forma de fabricación de productos, esto va desde la elección de materiales y adecuados procesos de producción, uso de los productos y su disposición final para concluir su vida útil.

Los criterios para utilizar son:

1) El empleo de materiales renovables

El diseño que opta por el empleo de materiales renovables de explotación controlada para evitar la extinción de recursos, hechos a partir de materiales que pueden regenerarse en tiempos breves de una estación a otra. Estos materiales no producen desperdicios, son asimilados por la biomasa y son biodegradables. Esta estrategia conlleva a la revisión del concepto de material universal, a favor del concepto de material local (Doveil, 1997).

2) Usar recursos locales

Referido a disminuir los costes e impactos ambientales derivados del transporte, y además tiene impactos sociales positivos como la dependencia de las importaciones, de manera tal que pueda beneficiar a las economías locales y aumentar la autosuficiencia (Rognoli, 2021).

3) El proceso de producción consciente

Se refiere a la disminución del impacto ambiental en el proceso de fabricación de los productos, también al ahorro de energía, el no generar sustancias tóxicas y tampoco desperdicios de materias primas (Rognoli, 2021).

4) Disposición final del producto

Indica donde acaba su vida útil y que este pueda ser reusado, reciclado, degradado, etc. El cual priorice el diseño de un material que tenga en cuenta todo el ciclo de vida (Rognoli, 2021).

Conclusión revisión bibliográfica

El generar un material con un residuo como el cartón, que ha aumentado su producción y desecho en estos tiempos, pueda ser un sustituto a estos productos entregados, de manera local y sin la necesidad de ser exportados, cumpliendo con los requerimientos necesarios para un adecuado retiro. Aportando a la economía circular y a no generar más basura dentro de un servicio que debiese cumplir con los criterios básicos de sustentabilidad, que se propusieron dentro de la revisión bibliográfica.

En base a los referentes, se decide comenzar la exploración del residuo de cartón a partir del proceso productivo utilizado por (Gutiérrez & Barraza, 2021). En el cual el residuo es sometido a ser molido en seco y mezclado con almidón. Además, se explorará usar la caseína, que presenta propiedades las cuales se complementarían al residuo de cartón.

CAPÍTULO III: MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Tabla 5. Etapa I: Análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto. Elaboración propia.

ETAPA	ACTIVIDAD	TAREA
I. Análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto	1.1 Definir modo de obtención del residuo, procesamiento y granulometría	1.1.1 Recolección del residuo
		1.1.2 Procesamiento del cartón en seco y húmedo
		1.1.3 Análisis granulométrico de la fibra obtenida en el procesamiento
	1.2 Definir componentes del material a utilizar junto con la fibra de cartón	1.2.1 Análisis práctico de los aglomerantes que cumplen con los criterios para conformar el material compuesto
	1.3 Definir proporciones de fibra de cartón, aglomerantes y método de secado	1.3.1 Análisis práctico para la selección de las proporciones de fibra y aglomerante a utilizar en el material compuesto

1. ETAPA I: ANÁLISIS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Actividad 1.1: Definir modo de obtención del residuo, procesamiento y granulometría

1.1.1 Recolección del residuo

El cartón corrugado utilizado como materia prima para la obtención del material compuesto, fue recolectado desde contenedores de basura de edificios residenciales y dentro de la facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Esta recolección se llevó a cabo en la comuna de Santiago entre las calles Lira y Avenida Portugal.

El hecho de recolectar cartón que no está siendo debidamente separado para ser reciclado (ya que se encuentra mezclado con basura) y de recolectar cartón dentro de la facultad, es con el fin de no afectar el trabajo de los recicladores de base.

1.1.2 Procesamiento del residuo seco y húmedo

Con el fin de seleccionar el método que mejor cumpla con los requerimientos de elaboración del material compuesto, primero, se procesó el residuo de dos modos diferentes, se seleccionó método de procesamiento para la fabricación del material compuesto mediante la evaluación de ambos en una tabla comparativa. En esta tabla se evaluaron las siguientes propiedades.

Procesamiento del cartón en seco

Para poder procesar el residuo en seco, se utilizó un molino de martillo marca Güter Tools, Modelo WF-1500a2, 300 kg/hr como se muestra en la figura 13. Se procesaron 100 grs de cartón corrugado simple, previamente cortados en trozos pequeños de 30 mm para poder facilitar su procesamiento dentro del molino (ver figura 14) y se usó una malla de 2 mm, ya que es la más pequeña que se pudo optar con el tipo de residuo que se está utilizando.

Procesamiento del cartón húmedo

Para procesar el residuo en húmedo se utilizó el método de procesamiento convencional para la fabricación de papel en casa. El método utilizado fue el de Oditec (s.f) que explica el procesado casero de papel reciclado, el cual fue adaptado para el procesado y posterior secado del cartón, se siguieron los siguientes pasos:

1. Rasgar 100 gramos de cartón en trozos de 2 a 3 cm²
2. Remojar el cartón durante 12 horas (por cada 50 gramos son 2 litros de agua)
3. Licuado con $\frac{3}{4}$ de agua y $\frac{1}{4}$ del cartón (licuado corto: fibra más larga / licuado largo: fibra más corta)
4. Filtrado y secado de la fibra obtenida durante 24 horas al sol



Figura 13. Molino de martillo. Fuente: Elaboración propia . Figura 14. Cartón cortado en trozos. Fuente: Elaboración propia.

1.1.3 Análisis granulométrico de la fibra

Luego de procesar el cartón húmedo y seco, se realizó el análisis de la fibra obtenida de ambos métodos de tratamiento del residuo, con el fin de definir el tipo de fibra más adecuado para la conformación del material compuesto.

Se tomaron 100 gramos que se procesaron en una licuadora y en el molino de martillo y se tamizaron en tamices estandarizados con la norma ASTM E-11 de 10 a 325 mesh, proporcionado por el Biolab de FAU.

Los resultados se registraron en una tabla y se comparó el porcentaje resultante en cada tamiz correspondiente a la masa que más se obtuvo luego de la separación del tamaño de la fibra.



Figura 15. Tamices. Fuente: Elaboración propia.

Actividad 1.2: Definir componentes del material a utilizar junto con la fibra de cartón

1.2.1 Análisis práctico de los aglomerantes que cumplen con los criterios para conformar el material compuesto

Los materiales que se necesitan para realizar el análisis práctico del material son:

1. Gramera
2. Molde circular
3. Procesadora
4. Filtro de tela
5. Contenedor
6. Vinagre (para cortar la leche)
7. Leche vencida (en polvo)
8. Alginato
9. Residuo de cartón procesado



Figura 16. Materiales. Fuente: Elaboración propia

Los procesos del análisis práctico para definir el aglomerante adecuado se dividió en:

Fase 1: Conformación del compuesto de forma manual

En este proceso se une la fibra con el aglomerante manualmente, para evaluar su comportamiento sin herramientas, esto se realizó con las mismas proporciones para cada composición y se analizan sus resultados.

Fase 2: Conformación del compuesto con procesadora de alimentos

En este proceso se conformó el material utilizando una procesadora de marca Oster 2069 de 250 watt, para unir el residuo con el aglomerante de manera más homogénea.

Tabla 6. Análisis de aglomerantes. Fuente: Elaboración propia

Probeta	compuesto seco		Agua (ml)
	% fibra	% aglomerante	
Caseína			
Almidón			

Los procesos fueron evaluados en una tabla comparativa (ver tabla 57 que tomó en cuenta los siguientes aspectos para la selección del aglomerante: Preparación, secado, rigidez, resistencia al agua, desmoldado. Se identificaron los resultados mediante el nivel de logro respecto al compuesto elaborado (ver tabla 8).

Tabla 7. Requerimientos del aglomerante. Fuente: Elaboración propia

Requerimientos del aglomerante	Muestras	
	CA (Cartón + almidón)	CC (Cartón + Caseína)
Preparación		
Secado		
Rigidez		
Resistencia al agua		
Desmoldado		

Tabla 8. Nivel de logro. Fuente: Elaboración propia

Simbología	Nivel	Definición
✓	Logrado	Cumple con el aspecto evaluado
✓✗	Regular	No cumple en su totalidad con el aspecto evaluado
✗	No logrado	No cumple con el aspecto evaluado

Las muestras se situaron dentro de un molde circular de 50 mm de diámetro y 10 mm de altura. El proceso de secado fue a temperatura ambiente durante 72 horas.

Actividad 1.3: Definir proporciones de fibra, aglomerante y método de secado

1.3.1 Análisis práctico para la selección de las proporciones de fibra y aglomerante a utilizar en el material compuesto

Luego de seleccionar el aglomerante que seguirá siendo evaluado se evaluaron variables con diferentes proporciones de fibra versus aglomerante, para analizar en detalle las proporciones más adecuadas para la conformación del material (Ver tabla 9).

Tabla 9. Análisis de proporciones. Fuente: Elaboración propia

Probeta	compuesto seco		agua (ml)
	% fibra	% aglomerante	
C1	40	60	80
C2	50	50	90
C3	60	40	100
C4	70	30	110
C5	80	20	120

Mientras mayor es la cantidad de residuos, mayor es la cantidad de agua que se debe agregar al compuesto para poder humedecer la fibra de cartón.

Criterios para la selección de muestra final

Se realizan las muestras iterando el tamaño de fibra, proporciones de aglomerante y residuo con el objetivo de llegar al material deseado.

En base a las variables se establecen 3 criterios de selección para la muestra final seca, esto luego de 2 semanas de observación. (ver tabla 10).

Tabla 10. Criterios para la selección de muestra final. Elaboración propia.

Criterio	Descripción
Estabilidad de la muestra	La muestra no presenta deformación o rotura luego de dos semanas de observación.
Presencia de hongos en la muestra	La muestra no presenta hongos en su exterior luego de dos semanas de observación.
Rigidez de la muestra	La muestra se mantiene rígida al tacto, no se dobla o ablanda fácilmente al ejercer presión.

Tabla 11. Etapa II: Caracterización y validación del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	ACTIVIDAD	TAREA
II. Caracterización y validación del material compuesto	2.1 Ensayos de propiedades físicas	2.1.1 Desarrollar ensayos de densidad, absorción de agua e hinchamiento..
	2.2 Ensayos de propiedades mecánicas	2.2.1 Realizar ensayos de flexión y tracción
	2.3 Ensayos de trabajabilidad	2.3.1 Desarrollar ensayos de mecanizado, moldeabilidad, coloración, corte y grabado láser.
	2.4 Ensayos de resistencia a agentes externos	2.4.1 Desarrollar ensayos de envejecimiento natural y degradación del material compuesto.
	2.5 Evaluación perceptual del material	2.5.1 Desarrollar evaluación perceptual del material a diferentes focus group.

2. ETAPA II: CARACTERIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Actividad 2.1: Ensayos de propiedades físicas

2.1.1 Desarrollar ensayos de densidad, contenido de humedad, absorción de agua e hinchamiento

Densidad

Es importante poder tener conocimiento de la densidad del material antes de ser intervenido físicamente para poder conocer las similitudes entre su masa y volumen con otros materiales, para calcular la densidad se siguió la siguiente fórmula

$$\text{Densidad} = \frac{M}{V}$$

M= masa (kg) V= Volúmen (m³)

Donde m es igual a la masa en kilogramos y v es el volumen en metros cúbicos (Beylerian et al., 2008). Se analizaron 5 probetas de 50 x 50 x 6 mm y el resultado será registrado en un cuadro y será comparado con otros materiales que tengan densidades similares al material compuesto.

Absorción de agua e hinchamiento

Para realizar el ensayo de absorción la muestra se sumerge en agua y se debe pesar antes de ser sumergida, transcurridas 2 horas y se finaliza pesando luego de 24 horas (ASTM, 1999), la absorción se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{W2 - W1}{W2} \times 100$$

Donde W1 corresponde al peso inicial de la probeta y W2 es el peso luego de 24 horas de ser sumergido en agua (ASTM, 1999).

Para calcular la hinchazón se mide el espesor de cada muestra antes y después de ser sumergida en agua durante 24 horas (AENOR, 1994). La hinchazón se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Hinchamiento (\%)} = \frac{t2 - t1}{t1} \times 100$$

Donde t1 es el espesor inicial antes de ser sumergido y t2 es el espesor final luego de ser sumergido por 24 horas (AENOR, 1994). Para realizar el ensayo se fabrican 5 probetas de 50 mm x 50 mm.



Figura 17. Probetas. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Realizar ensayos de flexión y tracción

Tanto los ensayos de flexión como de tracción fueron realizados en el Laboratorio de Innovación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, usando una máquina universal modelo WDW-S5, con un voltaje de 220v/1ph.

Flexión

El ensayo de flexión se realizó bajo la norma ASTM D790, las probetas fueron realizadas con medidas de 127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm. Se realizaron 6 probetas que fueron cortadas en CNC.

Para calcular el módulo de elasticidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{P_1 L^3}{4bd^3 y_1}$$

Donde MOE es el módulo elástico, P1 es la carga límite proporcional, L es la distancia entre apoyos, b el ancho de la muestra, d el espesor de la muestra, y1 es la deflexión central en el límite de carga proporcional (mm).

Tracción

El ensayo de tracción se realizó bajo la norma ASTM D638, las probetas fueron realizadas con medidas de 165 mm x 19 mm x 7 mm. Se realizaron 5 probetas que fueron cortadas en CNC.

Para calcular el módulo de ruptura se utilizó la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde Mor es el módulo de ruptura, P es la máxima carga, L es la distancia entre apoyos, d es el espesor de la muestra y b es el ancho de la muestra.

Actividad 2.3: Ensayos de trabajabilidad

2.3.1 Desarrollar ensayos de mecanizado, moldeado, coloración, corte y grabado láser

Mecanizado

Para las pruebas de mecanizado se realizaron ensayos de perforación, lijado y corte, siendo registrado sus resultados en un cuadro comparativo, las herramientas utilizadas y los tipos de ensayo se aprecian en la tabla 12.

El formato de ensayo fue de 50 mm x 120 mm x 5mm.

Tabla 12. Datos técnicos herramientas de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de ensayo	Tipo de herramienta	Datos técnicos
Perforado	Taladro pedestal	Taladro pedestal 1100w INGCO Voltaje: 220 - 240 v - 50 hz Velocidad del husillo: 200 - 2600 rpm
Corte	Sierra de huincha	Sierra de huincha 230 mm 1100w ITAKA Modelo RBS A Potencia: 1,100 w / 1,5 hp Voltaje: 220 v
	Sierra caladora orbital	Sierra caladora orbital Tipo I Modelo DWE300-B2 Voltaje: 220
Lijado	Lijadora Orbital	Lijadora Orbital 190 w MAKITA Potencia: 180 w Voltaje: 220 v

Moldeado

En las pruebas de moldeado el procedimiento consistió en preparar la mezcla y luego agregarla a un molde de dos partes (Moldes proporcionados por el Biolab Fau). Para poder lograr un resultado uniforme, el molde fue prensado y luego ingresado en el horno siguiendo el procedimiento de la muestra final.



Figura 19. Moldes. Fuente: Elaboración propia.

Coloración

Para las pruebas de coloración se decidió usar tintes vegetales de comida, ya que eran los menos costosos en el mercado, el tinte fue agregado tanto a la caseína como al alginato para mejor absorción del color. Los colores que se escogerán serán los que puedan contrarrestar el color original del material compuesto.



Figura 20. Tintes vegetales. Fuente: Elaboración propia.

Corte y grabado láser

Se decidió realizar pruebas de corte y grabado láser para saber si el material puede ser sometido a la concentración de luz de la máquina, el tipo de máquina que se utilizó fue una cortadora laser de marca Versa Láser de 800 x 450 mm. Para el registro se llevó a cabo un test de grabado donde se va iterando la potencia y velocidad del láser. Así registrar cuál es la adecuada para una mejor definición.



Figura 21. Proceso de corte y grabado. Fuente: Elaboración propia.

Actividad 2.4: Ensayos de resistencia a agentes externos

2.4.1 Desarrollar ensayos de envejecimiento natural y degradación del material compuesto

Envejecimiento natural

El ensayo de envejecimiento natural consiste en exponer las muestras a los rayos UV sobre una superficie plana, este ensayo se realizó bajo el estudio de orden et al. (2000), siendo adaptado bajo las circunstancias y requerimientos del ensayo. Se elaboraron 2 probetas de 50 mm x 50 mm x 3 mm, que fueron expuestas durante 2 meses a los rayos uv, en donde el registro se realizó al iniciar y terminar el ensayo para observar si hubo cambios en su masa y coloración.

Degradación del material compuesto

El material fue sometido a un ensayo de degradación bajo la norma europea UNE-EN 13432, la que establece si el material puede ser o no degradado, esta dice que para que un material pueda ser degradable debe perder el 90% de su masa durante un transcurso de 6 meses.

Para el ensayo se elaboraron 2 probetas de 50 mm x 50 mm x 3 mm y fueron enterradas a 50 mm, la tierra utilizada es de la marca TIERRAFERT que contiene tierra de hojas con un alto contenido de compost y alta capacidad de drenaje.

El registro fotográfico y pesaje de la muestra fue analizada cada 7 días por un periodo de 56 días, al ser desenterrada la muestra, se procedía a airear la tierra y se regaba con un aspersor cada dos días para mantener su humedad.

Actividad 2.5: Evaluación perceptual del material

2.5.1 Desarrollar evaluación perceptual del material a diferentes focus group

Tabla 13. Registro de degradación del material. Elaboración propia

	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42	Día 49	Día 56	Materia seca
PROBETA 1										
Variación de peso (g)										
PROBETA 2										
Variación de peso (g)										
Promedio variación de peso (%)										

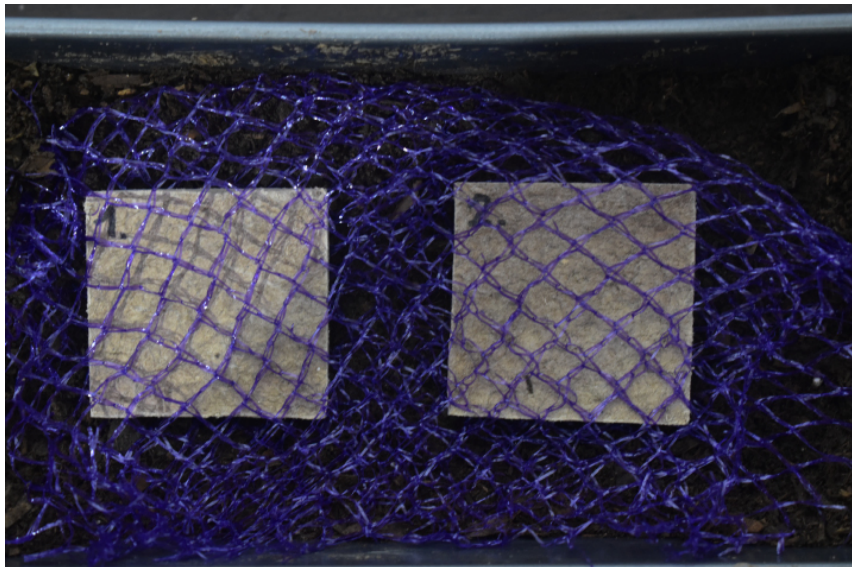


Figura 18. Ensayo degradabilidad. Fuente: Elaboración propia.

La evaluación perceptual que se realizó fue basada en el método “Material Driven Design”, que consiste en que grupos de personas evalúan el material a través de una encuesta, donde el usuario otorga adjetivos antónimos en relación a su experiencia afectiva, interpretativa y sensorial (Camere & Karana, 2018)

El primer grupo (GRUPO A) de personas que se evaluó fueron estudiantes de Diseño Industrial de la universidad de Chile que tenían conocimientos previos sobre materiales biobasado. El segundo grupo (GRUPO B) que se evaluó fue a personas que estuvieron en la exposición de la semana de la madera, por lo que se evaluó a personas que no necesariamente tenían conocimientos previos respecto a materiales biobasados pero que sí mostraban un interés sobre la fabricación de nuevos materiales, dentro de este grupo se encuentran profesores, estudiantes de las diversas carreras y gente externa a la universidad.

Se encuestaron en total a 40 personas, 15 estudiantes de Diseño industrial que cursan el ramo de proyecto (Grupo A) y 25 personas entre ellos estudiantes, académicos y gente externa a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile que fueron captadas durante la exhibición de “Diseño y nuevas materialidades” que fue realizada desde el 26 al 28 de octubre.

Se escogieron estos grupos ya que se buscaba obtener la apreciación de personas que tuvieran cercanía a lo que es la fabricación de nuevos materiales por eso se decidió por un grupo que tuviera los conocimientos previos y otro grupo que se viera interesado a conocer más sobre este tipo de materiales. Además se facilitó el espacio junto con otros estudiantes de Proyecto de título por lo que la evaluación logró ser muy dinámica.

Tabla 14. Etapa III: Validación del material compuesto biobasado. Elaboración propia.

ETAPA	ACTIVIDAD	TAREA
III: Validación del material compuesto biobasado	3.1 Propuestas de aplicación	3.1.1 Evaluación y selección de propuestas de aplicación
	3.2 Elaboración de propuestas	3.2.1 Desarrollo de propuesta conceptual

3. ETAPA III: VALIDACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO BIOBASADO

Actividad 3.1 Propuestas de aplicación

3.1.1 Evaluación y selección de propuestas de aplicación

Las propuestas de aplicación fueron determinadas por productos que pueden ser materializados en mdf y así seleccionar el que mejor pueda mostrar los atributos que tiene el material a partir de los requerimientos que solicita su fabricación.

Para esto se investigó y se elaboró un moodboard de aplicaciones realizadas en MDF que puedan ser compatibles a ser realizadas con el material compuesto biobasado.

3.1.2 Desarrollo de propuesta conceptual

El desarrollo para elaborar la propuesta se enfocó en proponer conceptualmente la realización de un prototipo funcional que se vincule con materiales derivados de madera, específicamente el MDF. Además se tomó en cuenta los resultados de la encuesta realizada para proponer el concepto de diseño, se formuló un arquetipo y se elaboraron bocetos en base al moodboard que se realizó para presentar el concepto, además, se propuso una tabla de requerimientos y atributos para poder determinar las limitaciones del diseño.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RESULTADOS ETAPA 1: ANÁLISIS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Actividad 1.1: Definir modo de obtención del residuo, procesamiento y granulometría

1.1.1 Recolección del residuo

En la recolección se pudo obtener cartón corrugado del tipo mono tapa, simple y cartón doble. Se seleccionó solo el cartón que no estuviera manchado, húmedo o sucio para que no afectará en el resultado de la molienda.

En el proceso se recolectaron alrededor de 4 kg totales de cartón que fueron siendo procesados alrededor de 500 gramos por cada molienda realizada.

1.1.2 Procesamiento del residuo seco y húmedo

Procesamiento del residuo en seco

El proceso de molienda se efectuó en el molino de martillo con una malla de salida de 1 mm, esta fue la malla que procesó el material más rápido y sin que quedara residuo atascado dentro del molino, como sucedía con mallas de menor longitud.

Procesamiento del residuo húmedo

El proceso que se efectuó con una licuadora fue más tardado por el tiempo en que se debe remojar el residuo para que fuera apto para su molienda, luego de ser licuado este se dejó secar durante 24 horas.



Figura 19. Proceso de recolección del residuo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Procesamiento del residuo seco y húmedo. Fuente: Elaboración propia.

PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CARTÓN

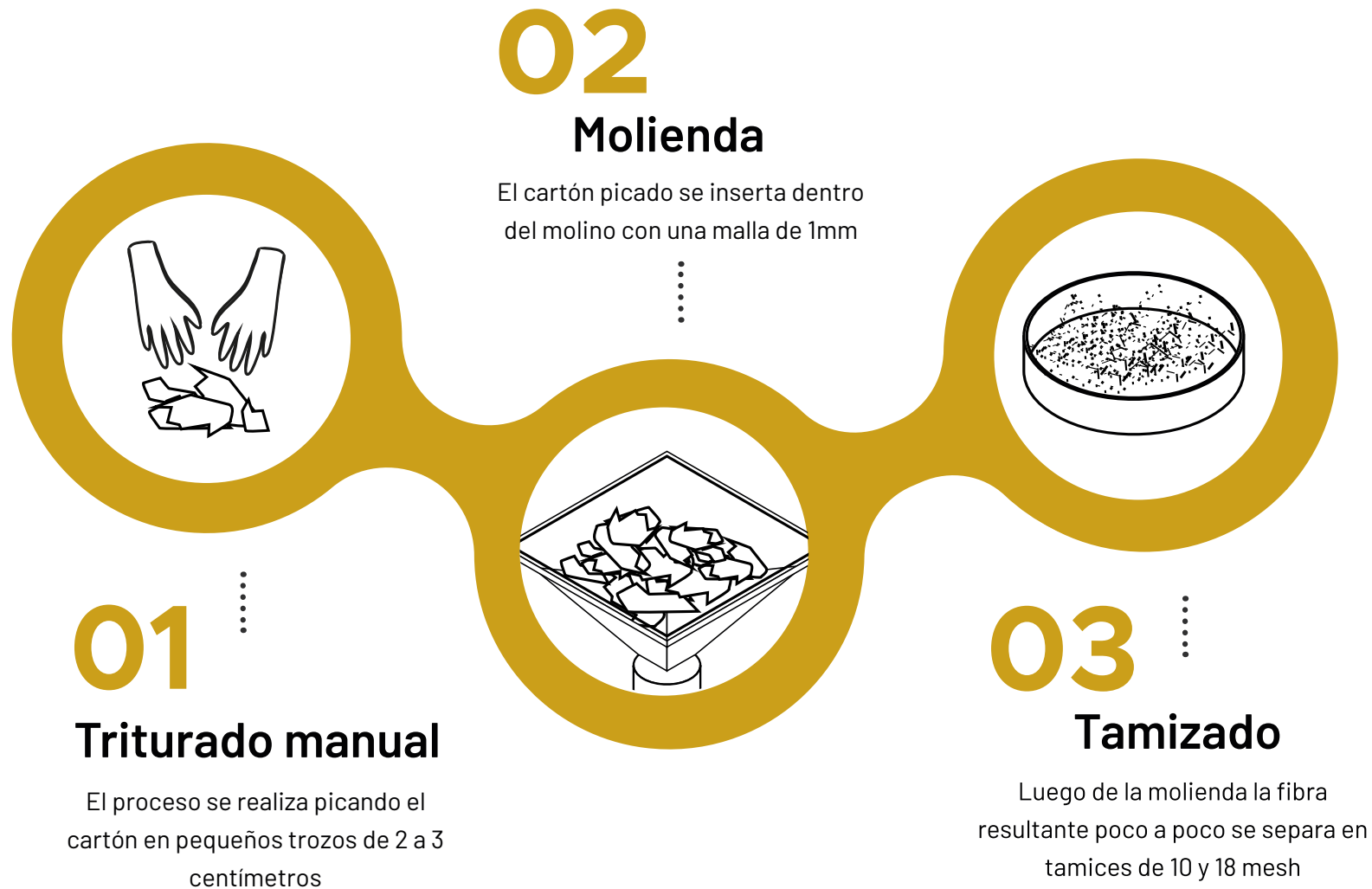


Figura 21. Proceso de obtención de la fibra de cartón. Fuente: Elaboración propia.

1.1.3 Análisis granulométrico de la fibra

Se decidió realizar el análisis granulométrico al residuo que fue procesado en seco, ya que el residuo procesado en húmedo tenía como desventaja el tiempo de preparación, la poca cantidad de residuo que se podía moler dentro de la juguera y el gramaje final de la fibra era larga (más de 2mm) y desproporcionada.

El resultado del análisis se puede apreciar en la tabla 15, donde el tamiz que más residuo retuvo fue el de 35 mesh, seguido por el tamiz de 18 mesh.

1.1.4 Selección del formato de fibra a utilizar en el material compuesto

Se decidió usar todos los gramajes dentro de la composición del material para no tener que procesar nuevamente en el molino, ya que eso implicaría usar más energía. Primero fue dividido la fibra de más de 1 mm (fibra larga) y la fibra de menos de 1 mm (fibra corta), por lo que la fibra más larga es usada en menor proporción dentro de la mezcla y así utilizar más cantidad de residuo en menor volumen.

Tabla 15. Resultado del análisis granulométrico. Fuente: Elaboración propia.

Tamaño tamiz	masa (g)	Porcentaje
10 mesh (2mm)	0	0
18 mesh (1mm)	27,1	27.48%
35 mesh (0,5 mm)	47,6	48.28%
50 mesh (0,397 mm)	20,1	20,39%
100 mesh (0,149 mm)	3,8	3.85%
325 mesh (0.044 mm)	0	0
Total	98,6	100%



Figura 22. Tamizado del residuo (18 y 35 mesh). Fuente: Elaboración propia.

Actividad 1.3: Definir proporciones de fibra y aglomerante

1.3.1 Análisis práctico para la selección de las proporciones de fibra y aglomerante a utilizar en el material compuesto

Selección del aglomerante

Para la selección del aglomerante primero se realizó una tabla (ver tabla 16) que evaluó cuál de los aglomerantes respondía mejor a los requerimientos escogidos. Como resultado se obtuvieron dos aglomerantes que responden mejor a los requerimientos, el almidón de maíz y la caseína de leche, ya que eran los más económicos.

El almidón de maíz se obtuvo de la compra de maicena y la caseína se obtuvo de la recolección de la leche en polvo vencida, proveniente de los consultorios, el cual fue distribuido a los usuarios pero no fue consumida debido a su tiempo de expiración.

Tabla 16. Requerimientos que debe cumplir el aglomerante.
Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos del aglomerante
Se puede obtener localmente
Es un adhesivo natural
Es económico
El adhesivo no es nocivo para la salud
Tiene resistencia a la flexión
Resistencia a la humedad
Es reciclable o compostable

Luego de seleccionar el aglomerante estos se mezclaron junto con el residuo de fibra de cartón. Se obtuvo que la caseína respondía mejor al ser aglomerado con el cartón, debido a que se volvía una masa fácil de manipular, en cambio con el almidón, la consistencia era más difícil de manipular, además, la caseína presentaba una rigidez mayor al tacto y resistía mejor al estar en contacto con el agua.

Tabla 17. Nivel de logro de los requerimientos que debe cumplir el aglomerante. Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos del aglomerante	Muestras	
	CA (Cartón + almidón)	CC (Cartón + Caseína)
Preparación	✓	✓
Secado	✓ ✗	✓ ✗
Rigidez	✗	✓
Resistencia al agua	✗	✓ ✗
Desmoldado	✓	✓



Figura 23. Resultado muestra CC. Fuente: Elaboración propia.

PROCESO DE LA MEZCLA INICIAL

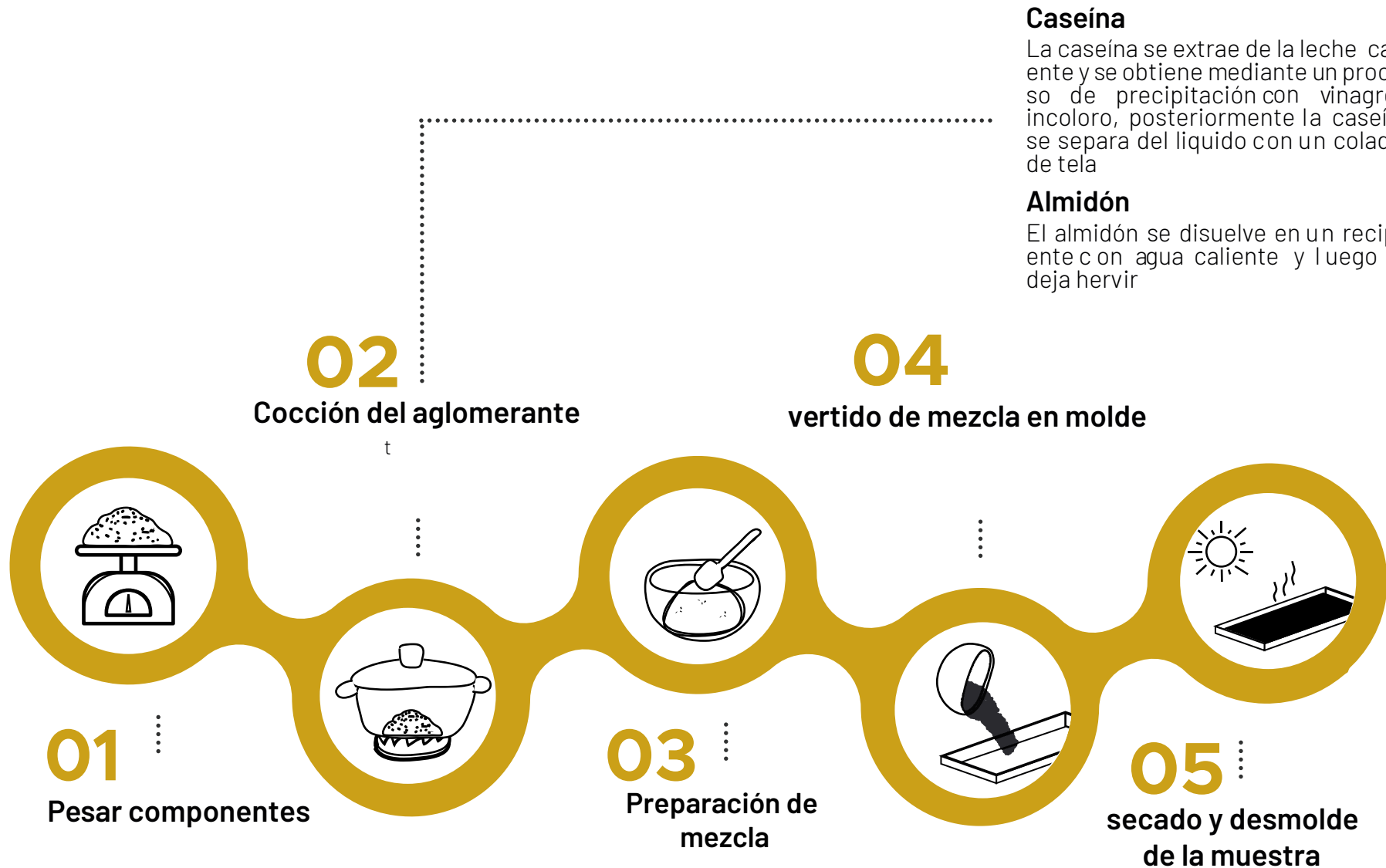


Figura 24. Proceso mezcla inicial. Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Obtención de la mezcla final

Debido a los resultados obtenidos en la tarea anterior, se decidió sólo usar la caseína de leche para seguir iterando la mezcla (ver tabla 18). Para mejorar el requerimiento de secado, la mezcla fue sometida al secado en horno; para mejorar su resistencia, la mezcla se fue iterando en su proporción de residuo y aglomerante (ver tabla 18); para mejorar la estética (ver figura 23) se decidió unir la mezcla con una procesadora para obtener un resultado homogéneo (ver figura 25).

Tabla 18. probetas. Fuente: Elaboración propia.

Probeta	compuesto seco		agua (ml)
	% fibra	% aglomerante	
C1	40	60	80
C2	50	50	90
C3	60	40	100
C4	70	30	110
C5	80	20	120

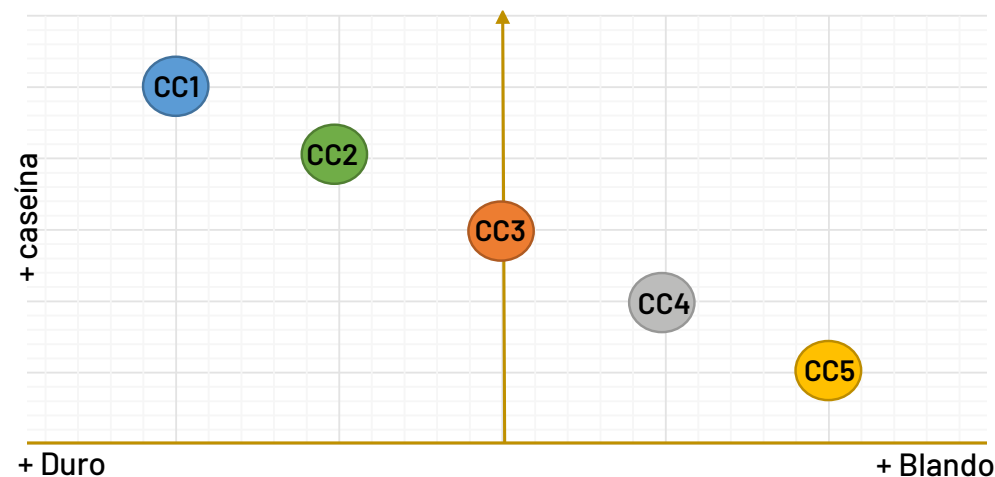


Figura 26. Resultados proporciones. Fuente: Elaboración propia.



Figura 25. Resultados materiales compuesto. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resultados de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Aglomeración	Dureza	Superficie lisa	Rigidez	No presenta hongos	TOTAL
CC1	✓	✓	✓✗	✓	✓	4.5 / 5
CC2	✓	✓	✓✗	✓✗	✓	4 / 5
CC3	✓	✓✗	✓✗	✓✗	✓	3.5 / 5
CC4	✓✗	✓✗	✓✗	✓✗	✗	2 / 5
CC5	✓✗	✓✗	✗	✓✗	✗	1.5 / 5

La muestra que presento mejores resultados fue la CC1 y la que presento los resultados mas desfavorables para el material compuesto fue la CC5. Además la muestra CC1 presento un mayor dureza y rigidez comparada a las otras muestras, pero no pudo completar el criterio de obtención de una superficie completamente lisa, pero fue la que obtuvo mejores resultados en la categoría (ver tabla 19).

Con respecto a la tabla se puede deducir que a mayor porcentaje de caseína, mejores resultados obtiene la muestra. Para reafirmar esto, se realizó una muestra sólo de cartón (C1) y otra solo de caseína (C2) para comparar sus propiedades físicas al tacto (ver figura 27).

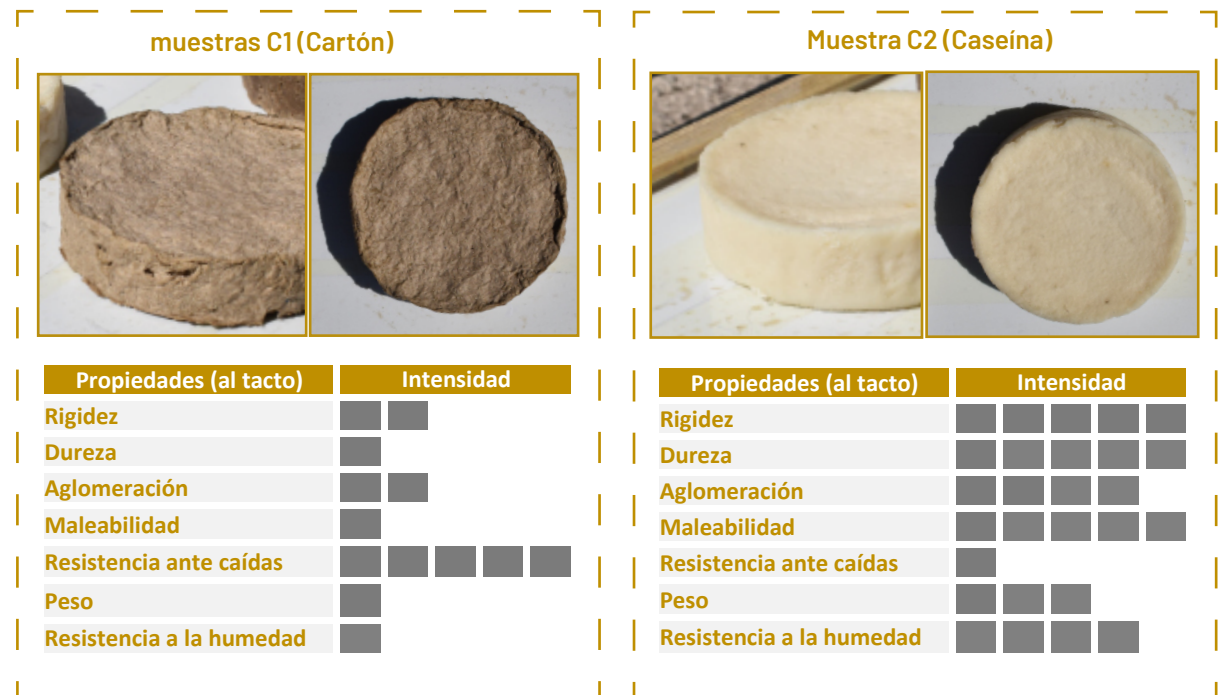


Figura 27. Caseína y cartón. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados la muestra seleccionada fue la CC1 que corresponde a una proporción de 40% fibra de cartón (80% fibra corta y un 20% de fibra larga) y un 60% de caseína extraída de leche vencida.

OBSERVACIÓN

La muestra seleccionada al cabo de dos semanas no presento hongos en su exterior pero luego de un mes, al comienzo de la temporada de invierno, las temperaturas bajaron y la muestra presentó humedad lo cual causo que sus propiedades disminuyeran. La muestra CC1 perdió rigidez y dureza al tacto.

Para poder mejorar nuevamente sus propiedades se decidió usar alginato de sodio en su composición, debido a observaciones realizadas en Seminario de título II, el alginato permite que las muestras resultantes absorban menos humedad y mantengan sus propiedades por más tiempo (Moya & Fernández, 2020).

De acuerdo a los resultados obtenidos de Moya y Fernández (2020) la proporción adecuada de alginato es un 1% del total de la mezcla. El alginato fue incorporado a la proporción de agua que se agrega para humedecer el cartón antes de ser procesado con la caseína.

La muestra modificada con alginato (CCA) presento un tono más oscuro que la muestra sin alginato (Ver figura 25). Además, las propiedades sometidas a bajas temperaturas se mantuvieron a diferencia de la muestra CC1, por lo que la cantidad de alginato se mantuvo sin necesidad de iterar nuevamente las proporciones (ver figura 22).

En la figura 30 se muestra el paso a paso del desarrollo de la mezcla que se realizó para la fabricación del material compuesto, desde la obtención del residuo hasta su secado final y desmolde.

Cabe recalcar que el tiempo de secado depende del espesor del material, al igual que el tiempo de prensado.



Figura 28. Probeta CCA. Fuente: Elaboración propia.

PROPORCIÓN DE COMPONENTES (CCA)

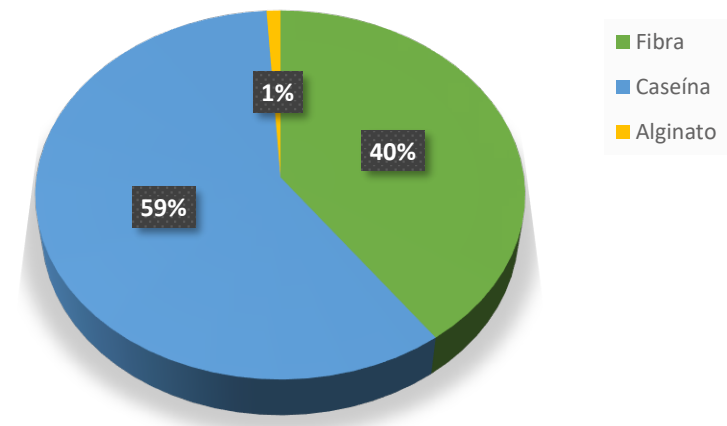
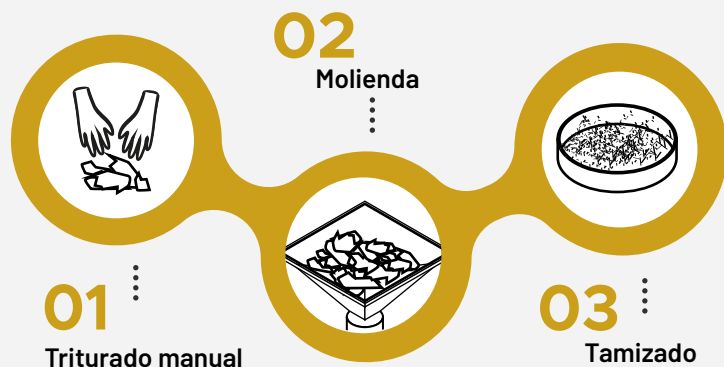


Figura 29. Proporción de componentes Fuente: Elaboración propia.

PROCESO DE LA MEZCLA FINAL (CCA)

FASE 1

Obtención de la fibra de cartón



Obtención de la caseína de leche



FASE 2

Preparación de la mezcla



Figura 30. Proceso final material compuesto CCA. Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Registro conformación del material. Fuente: Elaboración propia.



2. RESULTADOS ETAPA II: CARACTERIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Actividad 2.1: Ensayos de propiedades físicas

2.1.1 Desarrollar ensayos de densidad, absorción de agua e hinchamiento

Densidad

En la tabla 20 se expresan los resultados que se obtuvieron a partir del cálculo de la densidad de cinco muestras. El calculo promedio de la densidad fue de sobre los 1000 kg/m³.

El Mdf tiene una densidad de entre los 500 y 800 kg/m³, cuando supera la medida estandar se habla de tableros de alta densidad.

Tabla 20. Resultados ensayos de densidad. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Densidad (kg/m ³)
1	1086,6
2	1108,97
3	1160
4	914,43
5	938,5
6	998,35
Promedio	1024,05
MDF	500 - 800

Absorción de agua

En los resultados de absorción de agua se pudo determinar que el material al cabo de 2 horas absorbe aproximadamente un 12% de su masa inicial y al cabo de 24 horas el material absorbe un 30%. Luego de la absorción de agua el material se vuelve de un tono más oscuro y el agua se torna amarillenta debido al compuesto del alginato.

Los tableros de MDF logran una absorción de agua de un 10,38 luego de 2 horas y un 27,34 luego de 24 horas, los resultados comparados a la absorción de agua de la muestra CCA son muy similares.

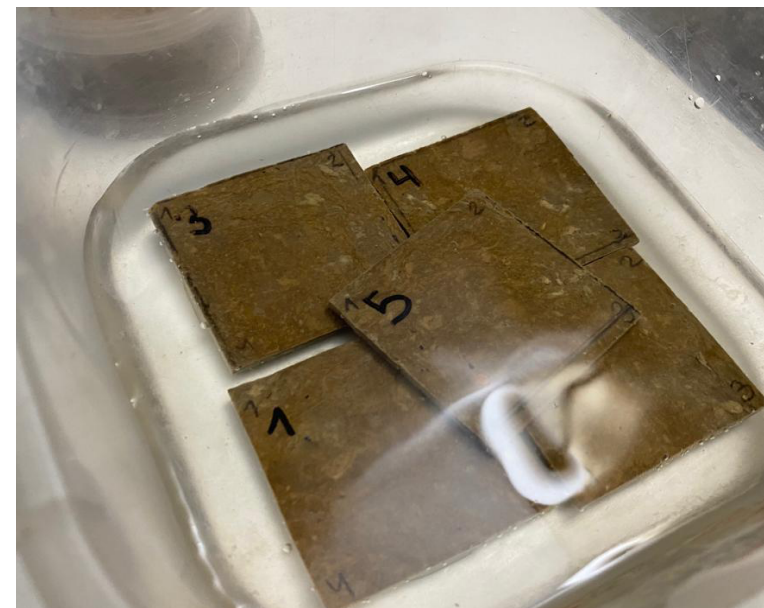


Figura 32. Registro probetas de absorción e hinchamiento. Fuente: Elaboración

Tabla 21. Absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Masa inicial (g)	2 Horas		24 Horas	
		Masa (g)	% ABS	Masa (g)	% ABS
1	6,95	7,75	11,50%	9,3	33%
2	6,9	7,8	13%	9,3	34%
3	7,45	8,35	12%	9,95	33,50%
4	7,1	8,05	13,30%	9,6	35,20%
5	7,15	8,1	13,20%	9,7	35,60%
Promedio	7,11	8,01	12,60%	9,57	34%

Hinchamiento

Los resultados de hinchamiento determinaron que el material compuesto CCA en promedio tiene un crecimiento de un 3,84% luego de 2 horas y de un 30% luego de 24 horas, a pesar del hinchamiento el material sigue manteniéndose rígido y no presenta desprendimiento.

El MDF tiene una capacidad de hinchamiento de 7,62% luego de 2 horas y de un 25,17% luego de 24 horas (ver tabla 22). Los rangos son muy similares a los resultados obtenidos en la muestra CCA.

Tabla 22. Resultados de hinchamiento Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Espesor inicial (mm)	2 Horas		24 Horas	
		Espesor (mm)	% Hinchamiento	Espesor (mm)	% Hinchamiento
1	2,5	2,6	4%	3,35	34%
2	2,5	2,6	4%	3,25	30%
3	2,7	2,8	3,7%	3,55	31%
4	2,6	2,7	3,8%	3,35	29%
5	2,7	2,8	3,7%	3,45	28%
Promedio	2,6	2,7	3,84%	3,39	30%

Actividad 2.1: Ensayos de propiedades mecánicas

Ensayos de tracción

Tabla 23. Resultados de tracción. Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
PÁRAMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo	Tracción	Norma	ASTM D638
Dimensiones	165 mm x 19 mm x 7 mm.	Numero de muestras	5
RESULTADOS			
Probeta	MOR (n/mm2)		
1	43,7		
2	46,7		
3	49,9		
4	34,4		
5	36,1		
Promedio	41,16		
Desv, estándar	6,7		
FOTO ENSAYO			



Figura 33. Ensayo tracción. Fuente: Elaboración propia.

Ensayos de Flexión

Tabla 24. Resultados de Flexión. Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
PÁRAMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo	Flexión	Norma	ASTM D790
Dimensiones	127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm	Numero de muestras	5
RESULTADOS			
Probeta	MOE (n/mm2)		
1	3907		
2	2680		
3	2107		
4	2739		
5	3264		
Promedio	2939,4		
Desv, estándar	606.9519256		
FOTO ENSAYO			

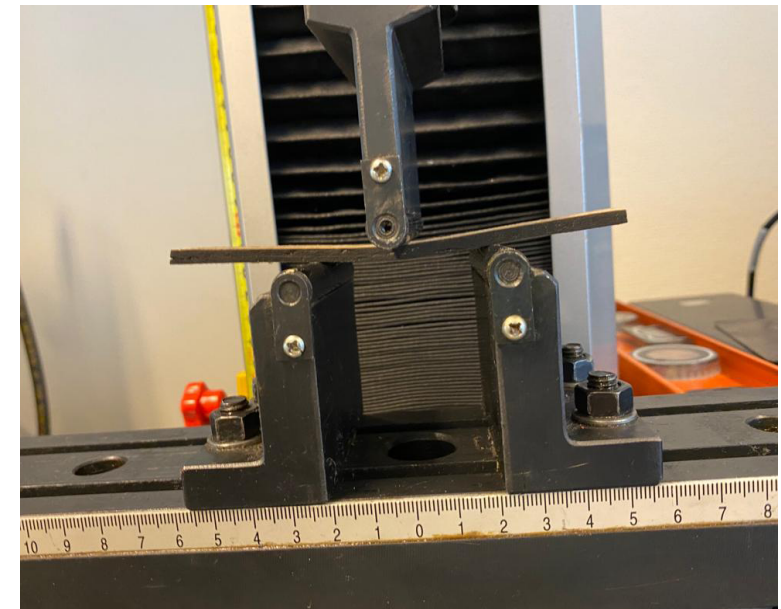


Figura 34. Ensayo flexión. Fuente: Elaboración propia.

Actividad 2.3: Ensayos de trabajabilidad

2.3.1 Desarrollar ensayos de mecanizado, moldeado, coloración, corte y grabado láser

Perforado

Los resultados de perforado con taladro de pedestal fueron favorables dado que no hubo problemas en el proceso, por otro lado, se puede apreciar (ver figura 35) que el agujero realizado queda bien definido con la broca de 3mm.

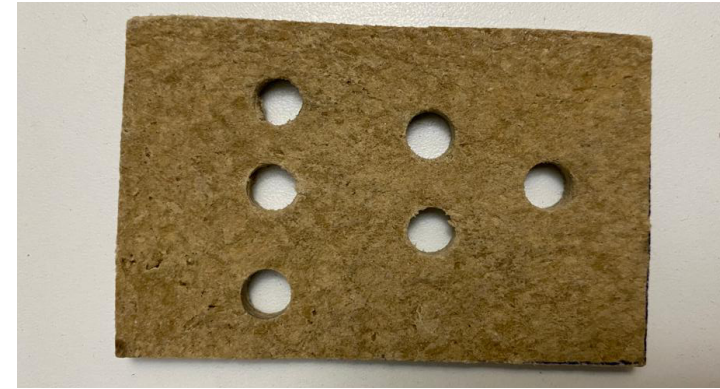


Figura 35. Perforado. Fuente: Elaboración propia.

Corte

El corte realizado con la sierra caladora presento resultados favorables pero el tipo de hoja era muy invasiva con el material por lo que el acabado no fue prolijo como en el caso de la sierra de huincha, que presento un acabado definido y de fácil manejo con el material (ver figura 36)



Figura 36. Corte. Fuente: Elaboración propia.

Lijado

Luego del proceso de lijado con lijadora orbital el acabado logrado fue fino al usar 3 tipos de lijas (80, 150, 240).

En el acabado se puede apreciar una superficie de un tono más oscuro debido a que la primera capa estaba en contacto directo con el calor producido por el horno. Además se logra apreciar una textura con un efecto marmoleado luego de ser lijado (ver figura 37).



Figura 37. Lijado. Fuente: Elaboración propia.

Moldeado

Al realizar las pruebas de moldeado se determinó que el material presenta características para ser moldeable antes de su secado en horno gracias a su capacidad de ser maleable para dar la forma que uno requiera.

El proceso consistió en:

1. Agregar la mezcla al molde
2. Prensar para un acabado más resistente y uniforme
3. Secar en el horno sin la base
4. Lijar las caras internas y externas hasta conseguir un acabado liso

El moldeado de la semi esfera quedó con un mejor acabado que la de forma rectangular ya que no tiene puntas que necesiten demasiada definición, pero esto se puede arreglar siendo sometido a la muestra a un proceso de lijado como se ve en la figura 37.



Figura 38. Moldeado 1. Fuente: Elaboración propia.



Figura 39. Moldeado 2. Fuente: Elaboración propia.

Coloración

Para cada 60 gramos de caseína se usaron 3 gotas de tinte vegetal.

En los resultados de coloración se determinaron 4 colores que pudieran contrarrestar los tonos marrones de la muestra original y es por esto que se escogieron el color rojo, verde, morado y azul.

En la figura 40 se puede apreciar el proceso de coloración de la muestra donde se añadió el tinte a la caseína y al alginato para luego ser mezclado con la procesadora.

Se puede apreciar que el cartón en húmedo no se distingue la coloración, pero en muestra ya seca, el tono marrón se mezcla con el tinte y resulta el color final.

Las muestras fueron favorables al tinte vegetal pero los colores quedan un poco artificiales por lo que se considera a futuro que se añada menos colorante a la mezcla o probar con tintes naturales provenientes de otros tipos de residuos orgánicos para un color más natural en el resultado final.



Figura 40. Proceso de coloración, resultado húmedo y seco. Fuente: Elaboración propia.

Corte y grabado láser

Para poder definir el grabado y corte más adecuado para el material compuesto biobasado se realizó un test de grabado, que ayudó a definir qué potencia y velocidad se debe usar para obtener los resultados adecuados dependiendo del objetivo que se quiere lograr.

En cuanto al grabado se pudo apreciar que el material responde favorablemente a ser trabajado con máquinas de corte láser. En los resultados del test se pudo definir que la velocidad y potencia de grabado que mejor se complementa al material y logra obtener un resultado prolijo y definido es de:

Potencia 10%

Velocidad 10%

En el resultado del corte láser se pudo definir que para obtener un acabado prolijo y definido, los parámetros que mejor se adecuan con el material son de:

Potencia 98%

Velocidad 2,5%

En el test también se puede apreciar (ver figura 41) que a una potencia de 10% y velocidad de 90%, se puede grabar el material en un color más blanco, lo cual puede ayudar a grabar la superficie del material en dos tonos distintos.

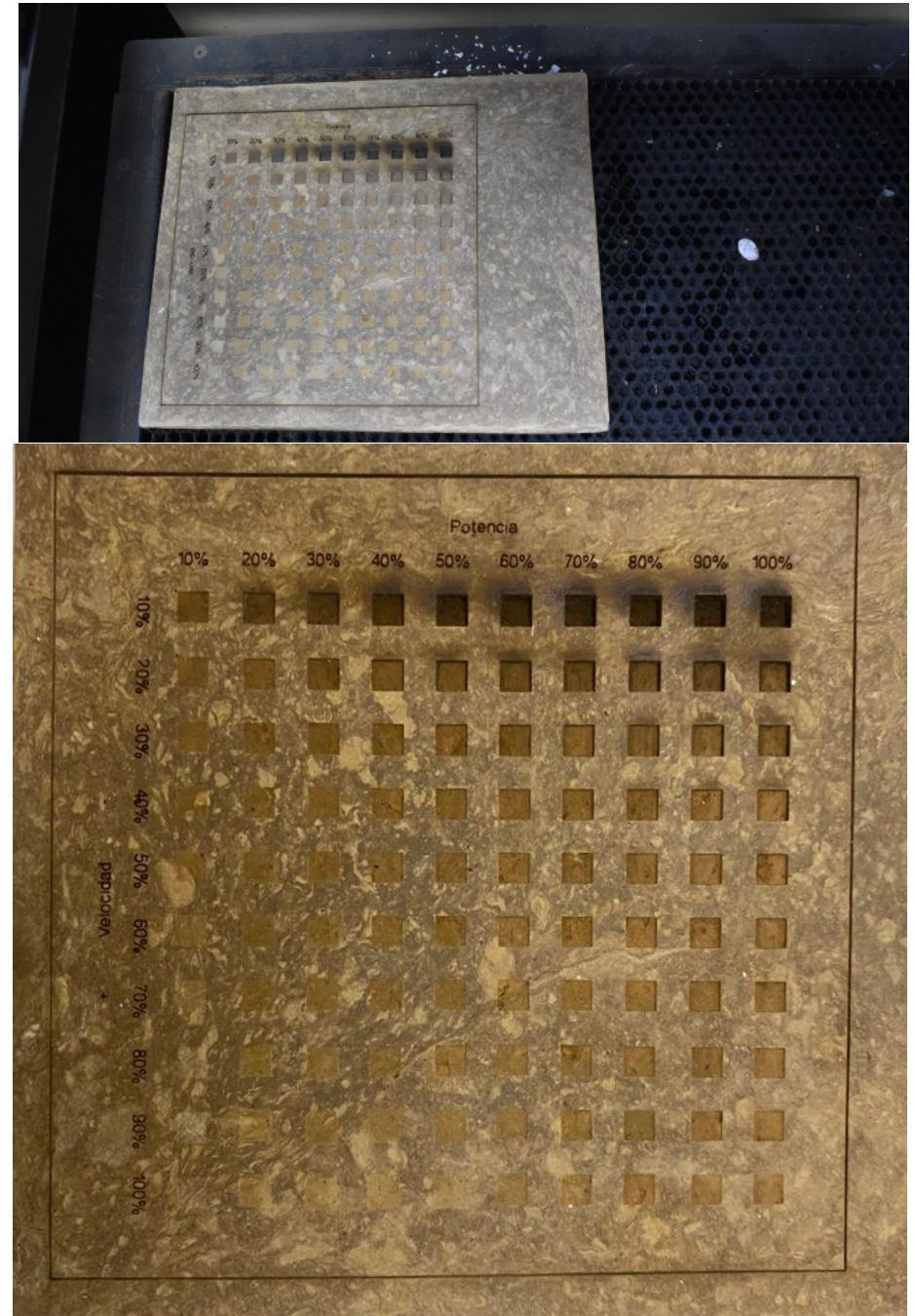


Figura 41. Grabado láser. Fuente: Elaboración propia.

Actividad 2.4: Ensayos de resistencia a agentes externos

2.4.1 Desarrollar ensayos de envejecimiento natural y degradación del material compuesto

Envejecimiento natural del material

En los resultados obtenidos (ver figura 42) luego de analizar la muestra en un plazo de 56 días se determinó que no se presentaron cambios en la masa inicial y final, esto quiere decir que mantuvo su peso. Se registró que la muestra presentó cambios en su coloración, la muestra se aclaró luego de estar expuesta a los rayos uv, esto debido a las altas temperaturas que se han registrado entre septiembre, noviembre y diciembre.



Degradación del material



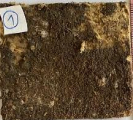

















De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 25, el material compuesto CCA presenta cambios notorios en su forma, masa y espesor.

El material al ser expuesto a microorganismos se comenzó a deteriorar rápidamente, al principio su peso aumentó comparado a su peso inicial en un 60%, esto debido al contacto con la humedad, pero al final de los 56 días el material se deterioró hasta perder un 50,7% con respecto a su peso inicial.

Se determina que el material puede ser compostable, como observación se agrega también que la aireación fue muy importante ya que los primeros días la muestra atraía muchos gusanos de mosca debido a la descomposición de la leche, esto se puede ver de manera favorable ya que ayudó a la aceleración del proceso de degradación porque los gusanos se alimentaban de la muestra, pero también una mala aireación puede provocar la putrefacción de la tierra.

Como proyecciones futuras para mejorar el análisis del material compuesto como material compostable, se puede crear un plan de mantenimiento que determine el tiempo de descomposición a mayor escala. Además, de determinar si la degradación del material aporta nuevos nutrientes a la tierra.

Tabla 25. Degradación del material. Fuente: Elaboración propia.

	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42	Día 49	Día 56	Materia seca
PROBETA 1										
Variación de peso (g)	9,9	15,5	15,1	14,4	13,7	11,1	10,5	9,6	8,4	4,6
PROBETA 2										
Variación de peso (g)	10,2	16,8	16,2	15,6	13,1	12,4	11,8	10	9,1	5,3
Promedio variación de peso (%)	0%	60,6% (+)	55,6% (+)	49,1% (+)	33,3% (+)	16,8% (+)	10,8% (+)	2,4% (-)	12,5% (-)	50,7% (-)

Actividad 2.5: Evaluación perceptual del material

2.5.1 Desarrollar evaluación perceptual del material a diferentes focus group

Se encuestaron en total a 40 personas entre el grupo A (Alumnos de Diseño Industrial con conocimientos previos en materiales biobasados) y el grupo B (Grupo variado que no tiene necesariamente conocimientos previos pero con interés en los materiales biobasados).

2.5.2 Análisis de resultados evaluación perceptual

Nivel sensorial

Los resultados del nivel sensorial indicaron que según la descripción del grupo A y B, el material es claramente duro, no elástico, opaco y rígido, además, de una inclinación que indica que el material es liviano, colorido y oloroso (ver figura 43).

Nivel interpretativo

Se registraron en la gráfica (ver figura 44) las 4 emociones que más se repetían dentro del grupo A y B.

Los resultados del nivel interpretativo indicaron que las emociones fueron en gran parte positivas y que ambos grupos coincidieron con las emociones de seguridad, confianza y serenidad que les causaba el contacto con el material.

Nivel afectivo

En los resultados del nivel interpretativo (ver figura 45) donde el encuestado debía colocar 3 significados, en ambos grupos se repitieron en mayor porcentaje los mismos, "natural, calmado y acogedor", esto debido a que el color y la textura lo asimilaban con la madera.

Simbología

- GRUPO A
- GRUPO B

NIVEL SENSORIAL

¿Cómo describirías el material?

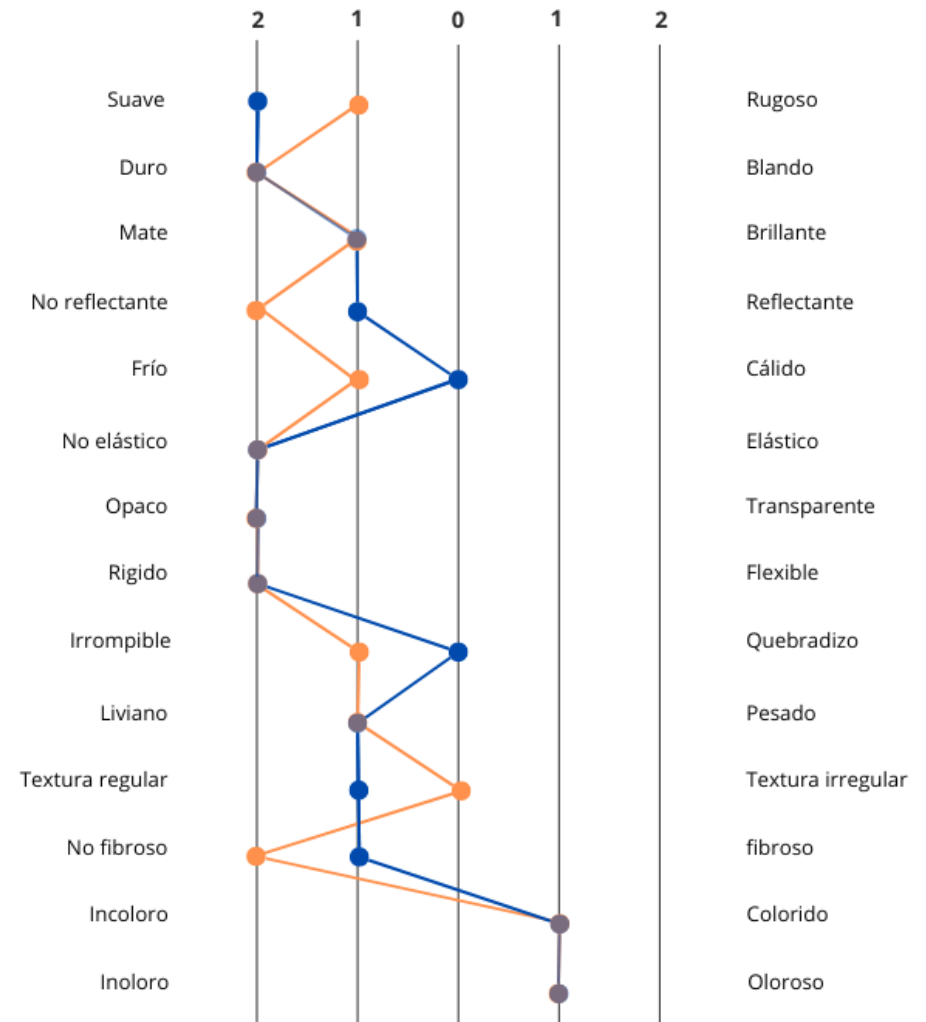


Figura 43. Nivel sensorial. Fuente: Elaboración propia.

NIVEL AFECTIVO

¿Qué emociones te provoca el material?

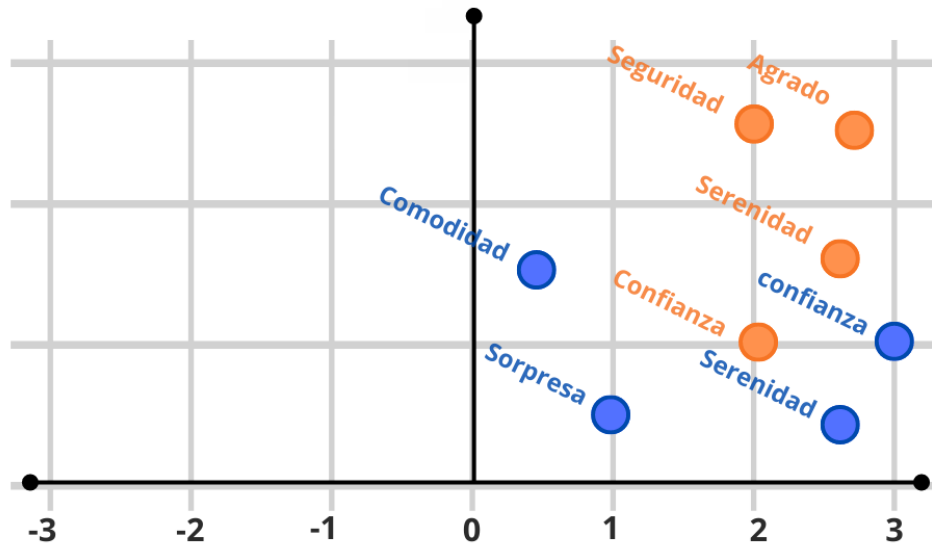


Figura 44. Nivel afectivo. Fuente: Elaboración propia.

NIVEL INTERPRETATIVO

¿Qué significados tiene el material?

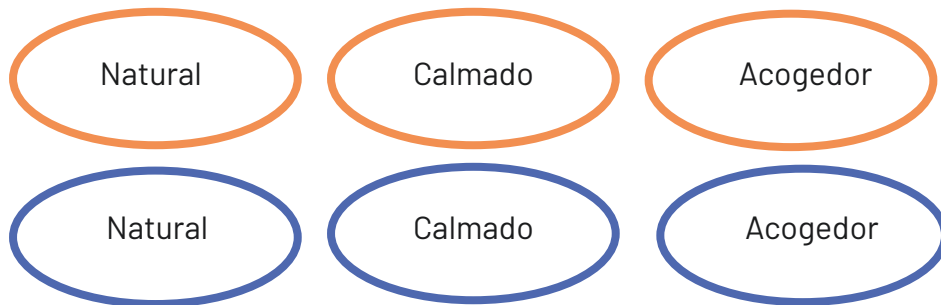


Figura 45. Nivel interpretativo, Fuente: Elaboración propia.



Figura 46. Grupo A. Fuente: Elaboración propia.



Figura 47. Grupo b. Fuente: Elaboración propia.

Reflexiones finales

En la parte de reflexiones finales se planteaba una pregunta abierta, en los resultados se destaca que lo más agradable del material es su textura y color. La característica más perturbadora es el olor, aunque, el olor también fue destacado en las características agradables, es decir, que depende de la percepción de cada usuario el nivel de agrado y aceptación con el olor del material. En la característica más única, ambos grupos coincidieron en que era su aspecto natural, pero a la misma vez, su aspecto marmoleado y suavidad.

3. RESULTADOS ETAPA III: VALIDACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO BIOBASADO

Actividad 3.1 Propuestas de aplicación

3.1.1 Evaluación y selección de propuestas de aplicación

Las propuestas de aplicación fueron determinadas por productos que pueden ser materializados en mdf y así seleccionar el que mejor pueda mostrar los atributos que tiene el material a partir de los requerimientos que solicita su fabricación.

Moodboard de productos



Figura 48. Moodboard. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Desarrollo de propuesta conceptual

Estrategia creativa

De acuerdo a los resultados del nivel interpretativo, se llevó a cabo la creación de conceptos que puedan expresar de manera visual la interpretación asociada al material.

Las definiciones trabajadas fueron natural, acogedor y calmado para ser integrado en un solo concepto de diseño.

Concepto central:

“ARMONÍA NATURAL PLACENTERA”

Armonía: Predispuesta en el color

Natural: Expresada en su forma orgánica

Placentera: Dirige al usuario a su zona de confort

De acuerdo a los conceptos se definió las propuestas de diseño a trabajar dependiendo de qué usos se le puede dar al MDF (expresado en el moodboard) y la que mejor responde a los conceptos que se plantearon, es el diseño de un parlante donde el material desarrollado (CCA) sea la caja acústica.

El Mdf es muy usado para crear cajas acústicas debido a su buena frecuencia, índice de absorción, rigidez, dureza y su bajo costo que favorecen tanto la fabricación como el sonido emitido (García, sf).

Usuario

El usuario se definió de acuerdo a un arquetipo de las personas que participaron en la encuesta, es por esto que el usuario propuesto es el siguiente:

Datos generales

Nombre: Sebastián

Edad: 23

Ocupación: Estudiante universitario

¿Qué es lo que él piensa o siente?

- >> Se siente desolado porque vive solo y su familia es de región
- >> Siente estrés por la universidad
- >> Siente felicidad cuando comparte con sus compañeros
- >> Se siente acompañado cuando tiene reuniones sociales

¿Qué es lo que él oye?

- >> Escucha a su familia cuando lo llamas para preguntarle cómo está
- >> Escucha a sus amigos charlar
- >> Escucha música loft cuando estudia
- >> Escucha música cuando sale con sus amigos
- >> Escucha a sus vecinos cuando emiten mucho ruido

¿Qué es lo que él o ella ve?

- >> Ve netflix y youtube cuando se aburre
- >> Ve al conserje del edificio con su radio cuando pasa por portería
- >> Ve a sus amigos en la universidad
- >> Ve a su familia cuando viaja a su casa

¿Qué es lo que el hace?

- >> El estudia en la universidad
- >> El compra plantas para decorar porque le gusta la naturaleza
- >> El medita porque a veces tiene ansiedad

MOODBOARD



Figura 49. Moodboard del concepto. Fuente: Elaboración propia.

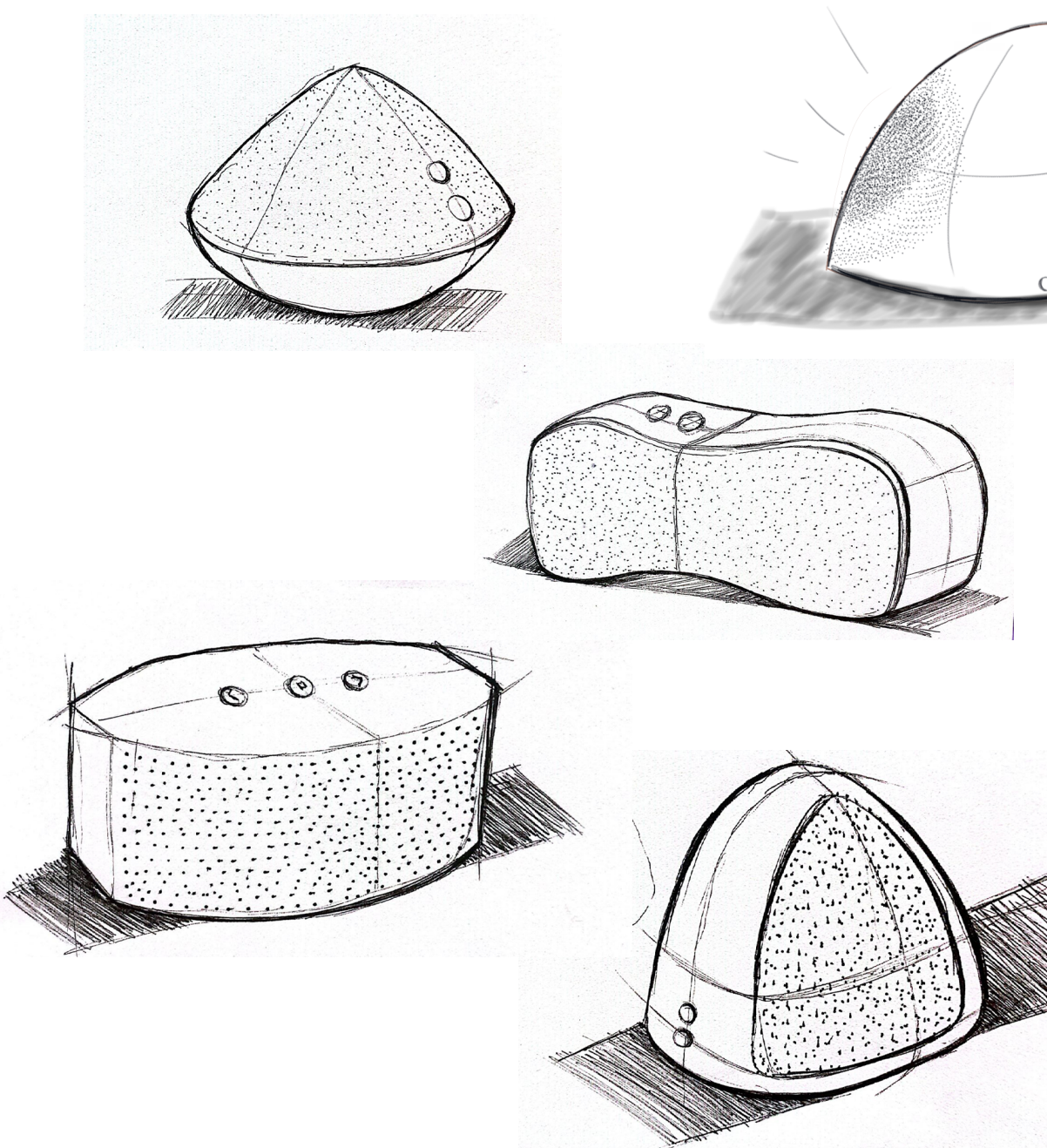


Figura 50: Bocetos preliminares. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al concepto de diseño se realizaron bocetos preliminares donde se pueden ver formas curvas y orgánicas como también sencillas y elegantes.

Estrategia creativa II

Promesa básica:

- >> La creación de valor a través de la materialidad.
- >> Mejorar la experiencia a la hora de escuchar música con un producto el cual pueda identificar al usuario, que le brinde comodidad y confort.
- >> Que el producto pueda ser trasladado a cualquier lugar ya que es inalámbrico y para permitir ser llevado a juntas sociales.
- >> La materialidad de la caja acústica es compostable por lo que al final de su ciclo de vida se puede degradar al estar en contacto con otros organismos y sus aparatos electrónicos deben ser reciclados.

Promesas secundarias:

- >> Resistencia a los golpes.
- >> Ampliar gama de colores para que pueda ser de la preferencia de más de un usuario.

3.1.3 REQUERIMIENTOS Y ATRIBUTOS

Tabla 26. Requerimientos y atributos. Fuente: Elaboración propia.

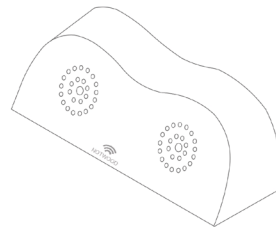
Categoría	REQUERIMIENTOS	ATRIBUTOS
PRÁCTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Que permita al consumidor escuchar música • El diseño debe permitir que sea transportable • El diseño debe responder al concepto "Armonía natural placentera" y rescatar el aspecto esencial del usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un altavoz que permita la amplificación del sonido • Diseño ligero y compacto • Crear diseño orgánico (Curvas, líneas limpias, fabricación sostenible)
INDICATIVA	<ul style="list-style-type: none"> • Que se puedan identificar los botones de uso (on/off) • Visualización clara de partes • Comunicación de función 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar simbología
SENSORIAL	<ul style="list-style-type: none"> • Comodidad en el agarre • Calidad de sonido 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño reducido • Tener en cuenta 4 parámetros: Rango de frecuencia, sistema de sonido, potencia de salida e interferencia.
SIMBÓLICA	<ul style="list-style-type: none"> • Que incentive el uso de materiales basados en residuos • Darle valor al residuo en un objeto de más costo que su producción • Proceso de producción sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> • Seguir criterios de sustentabilidad e identificar su ciclo de vida
ECONÓMICA	<ul style="list-style-type: none"> • Que sea accesible • Materiales de bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Crear tabla de costos • Identificar proveedores

En base a lo planteado en los requerimientos y atributos para la elaboración del prototipo, se realizó una maqueta inicial a partir de un molde de madera de dos partes en el cual se introdujo el material, posteriormente, se dejó secar en horno durante 24 horas. Los orificios de los altavoces se realizaron en una cortadora láser para mayor precisión.

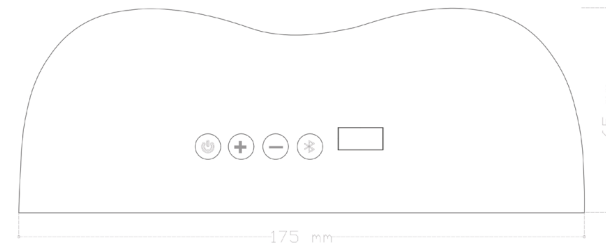
PROTOTIPO FINAL

PARLANTE

Prototipo elaborado con Notwood



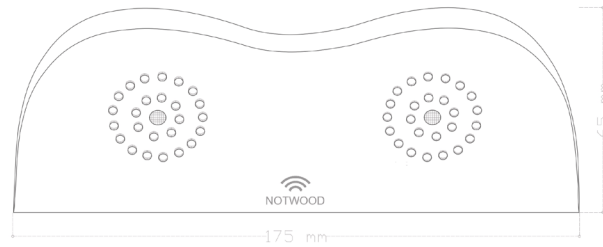
Isométrica ESC. 2:1



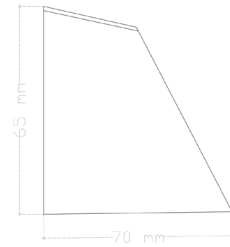
Elevación posterior ESC. 2:1



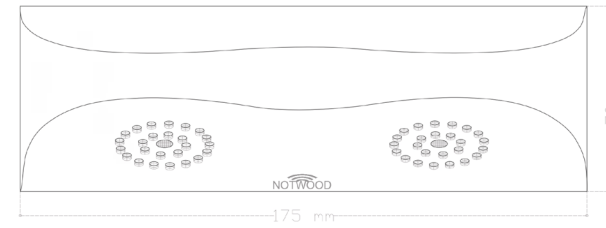
Detalle perforaciones



Elevación frontal ESC. 2:1



Elev. lateral ESC. 2:1



Planta ESC. 2:1



Detalle interfaz

Para finalizar se elaboró una ficha técnica donde se aprecian todas las características que se consiguieron en los resultados de la etapa 2, con sus respectivas mediciones.

FICHA TÉCNICA NOTWOOD

Material Compuesto Biobasado



Composición Seca	
<i>(material resultante)</i>	
Fibra de cartón	40%
Caseína	59%
Alginato	1%

Ensayos de Trabajabilidad	
<i>(escala del 1-5: 1 menos favorable, 5 más favorable)</i>	
• Perforado	
Taladro pedestal	5
• Corte	
Sierra de hinchcha	5
Sierra caladora orbital	4
• Lijado	
Lijadora orbital	5
• Moldeabilidad	
Coloración	4
Corte láser	4
Grabado láser	5

Resistencia a agentes externos	
<i>(escala: baja, media baja, media, media alta y alta)</i>	
Envejecimiento natural	alta
Degradación	media (UNE-EN 13432)

Composición Húmeda	
<i>(previo al secado)</i>	
Fibra de cartón	22,22
Caseína	32,77
Agua	44,4
Alginato	0,55

Propiedades Físicas	
Densidad	1024,65 kg/m ² (Beylerian et al., 2008)
Absorción de agua	30% (norma: ASTM 1999)
Hinchamiento	30% (norma: AENOR 1994)

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la tracción	41,16 N/mm ²
<i>(norma: ASTM D638)</i>	
Resistencia a la flexión	2939,4 N/mm ²
<i>(norma: ASTM D790)</i>	

Propiedades perceptuales	
<i>(escala 1-5)</i>	
• Sensoriales	
Suave	5
Duro	5
Mate	4
No Elástico	5
Rigido	5
Liviano	4
Opaco	5
• Interpretativas	
Natural	5
Calmado	5
Acogedor	5
• Afectivas	
Confianza	4
Serenidad	4

3.1.4 Conclusión métodos, resultados y discusión

En la etapa 1 de “Análisis y desarrollo experimental para la obtención del material compuesto” se pudo lograr la adecuada obtención del residuo y usar su 100% de fibra que fue procesada en el molino de martillo, por lo que no se generaba pérdida de materia prima ni la necesidad de usar más energía de la necesaria ya que la fibra tamizada se pudo separar en dos y usar ambas, la fibra larga en un 20% y la fibra menor a 1mm en un 80%, entre más fibra corta se usara mejor resistencia tenía el material y mayor cantidad de fibra se pudo usar. También fue interesante explorar que el usar una cantidad de fibra larga permitió que el material compuesto tomara un aspecto marmoleado y jaspeado en su superficie, esto se apreciaba cuando el material se lijaba.

En la etapa 2 de “Caracterización y validación del material compuesto” se pudo lograr adecuadamente la caracterización del material fabricado en base a residuo de cartón y residuo de leche vencida. La caracterización que se realizó pudo conseguir ubicar el material dentro de materiales compuestos con similitudes a los tableros de densidad media, incluso, de densidad alta. A pesar de conseguir la caracterización del material, esto se puede seguir profundizando, aplicando más ensayos al material como ensayos de temperatura, compresión, conductividad eléctrica, entre otras, que se esperan poder aplicar en un futuro. Fue muy importante poder haber conseguido la caracterización del material de acuerdo a la validación perceptual, debido a que esto pudo definir que los usuarios aceptan el material. En los datos obtenidos se veía una clara inclinación por características similares en ambos grupos encuestados, incluso llegando a tener las mismas apreciaciones con el material.

En la etapa 3 de “Validación del material compuesto biobasado” se pudo lograr las actividades y tareas propuestas para tener preliminarmente lo que se puede llegar a desarrollar con el material fabricado, esto al igual que la etapa 2, se puede seguir trabajando de manera más profunda en un futuro, hasta poder conseguir la fabricación total del prototipo y poder analizar su impacto ambiental mediante el conocimiento de su ciclo de vida el cual comienza con la obtención del residuo, hasta su degradación. Gracias a las actividades y tareas propuestas se pudo definir el concepto a ser trabajado y determinar qué requisitos debe cumplir el producto y así poder definir sus atributos como también sus limitaciones de fabricación.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

V. CONCLUSIÓN Y PROYECCIONES

1. Conclusión

La investigación tuvo como objetivo general desarrollar y analizar un material compuesto basado en residuos de cartón corrugado, que incentive la revalorización y la reinserción del residuo dentro de la economía circular. Debido a que el proceso se basó en los criterios de sustentabilidad mencionados en la revisión bibliográfica, el objetivo de generar un material compuesto biobasado se cumplió, ya que fue factible la reinserción del residuo al ser transformado en un material de bajo impacto ambiental.

El primero objetivo específico de “Caracterizar las propiedades del residuo seleccionado para el desarrollo de un material de bajo impacto ambiental”, fue primordial para lograr identificar con qué se estaba trabajando y poder descubrir las posibilidades constructivas del material.

El segundo objetivo específico de “Seleccionar aglomerantes y definir proporciones para la preparación del material basado en los criterios de fabricación propuestos”, fue desarrollado mediante un proceso de iteración en cuanto a las proporciones y tipos de compuestos, además llevar a cabo un registro de sus propiedades permitió poder mejorar la calidad del material cuando presento deficiencias al cambio de estación, incorporando alginato a su mezcla de fibra de cartón y caseína extraída de leche vencida para mantener por más tiempo sus propiedades iniciales.

El tercer objetivo específico de “Explorar el impacto sobre las propiedades físico-mecánicas del material fabricado y caracterizar las posibilidades constructivas aplicando una evaluación perceptual” fue determinante para caracterizar el material por medio de diversos ensayos, determinar sus propiedades y saber qué percepción tienen las personas de acuerdo al material elaborado.

En cuanto al cuarto y último objetivo específico que fue “Validar el material por medio de propuestas de diseño” se ejecutó de manera preliminar con la elaboración de propuestas en bocetos que permitían presentar el concepto desarrollado “Armonía natural placentera” que se propuso de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en la evaluación perceptual. Además se determinó el usuario al que estaba dirigido la creación del producto.

Se puede concluir que la hipótesis planteada al inicio de la investigación:

“El cartón corrugado debido a sus componentes biodegradables es una materia prima que siendo unidos con aglomerantes naturales podrá ser factible para la fabricación de nuevos materiales. Por otro lado, el cartón al estar conformado por fibras derivadas de madera al igual que el MDF, el material puede llegar a obtener propiedades similares y ser una alternativa más sustentable”

Se cumplió en su totalidad, ya que al realizar el análisis comparativo con las propiedades del MDF se pudo conocer que tiene características muy similares a los tableros de fibra de densidad media por lo que se proyecta proponer el material como una alternativa menos nociva para la salud y de fabricación más sustentable.

2. Proyecciones

Se proyecta su postulación al concurso de Madera21 en su edición 2023, ya que su objetivo es fomentar la utilización de la madera en las diversas áreas, posicionando la materia prima como una alternativa más amigable pero también eficiente en los diferentes aspectos.

En el nivel social y económico se proyecta poder generar nuevos empleos a través de la compra de cartón para la obtención de la materia prima y que los recicladores de base no solo tengan que vender el residuo a valorizadoras por un módico precio, si no que también puedan tener más opciones para obtener más ingresos. A nivel medio ambiental, el generar un material a través de dos residuos (leche vencida y cartón) se produce una disminución de desechos que terminan en rellenos sanitarios y así proporcionar un nuevo ciclo de vida que acabe en la degradación del material.

Se proyecta también que el material que fue fabricado de manera artesanal y semi industrial, en pequeñas cantidades, pueda ser elaborado a gran escala de manera industrial para optimizar el tiempo y que sus propiedades físicas y mecánicas sean siempre iguales.

Para finalizar también sería adecuado poder prototipar nuevamente el producto final, además de realizar un análisis del ciclo de vida del prototipo para tener conocimiento de su impacto ambiental desde que se recopila el residuo hasta llegar a su fin de vida.

Lista de referencias

Colom Cañellas, A. J. (1998). El desarrollo sostenible y la educación para el desarrollo.

ONU, (1987). Nuestro futuro común. Madrid: Alianza.

Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409-423. Doi: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>

Mura, H. G., & Reyes, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n78/n78a04.pdf>

NORAMBUENA, C. A. Z., & Andrea, C. (2005). Efecto de la mezcla de *Pinus radiata* y especies nativas sobre la expansión lineal en tableros OSB (Doctoral dissertation, Tesis (Para optar al título de Ingeniero en Madera). Valdivia, Chile. Universidad Austral, Facultad De Ciencias Forestales,. 44 pp).

John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibras and biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343-364.

Villamizar, F. (s.f.) ¿desarrollo sostenible? o ¿sustentable? (s.c)(s.f)

Miravete, A., & Castejón, L. (2002). Materiales compuestos. *Temas de designy*, (20), 123-139.

AIMPLAS. (2 de marzo de 2022). El presente y futuro de los materiales compuestos. <https://www.aimplas.es/>

Frugone Benavente, M. (2017). Manufactura aditiva FDM con filamento de madera como recurso para el diseño y fabricación de productos: propuesta para la optimización de la percepción expresiva y emocional de objetos impresos a través de la forma y procesos de acabado.

Rivera, N. A. (2004). El reciclado de papel y cartón. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 11(53), 54-56.

Angarita, J. D., Díaz, D. I., & Lozano, L. A. (2009). Fibra de palma africana (*elaeis guineensis*) para mejorar las propiedades mecánicas del cartón reciclado. *Revista ION*, 22(1), 63-71.

Pérez, C. (2 de febrero de 2020), Recicladores de base: Protagonistas invisibles del reciclaje. *The Clinic*. <https://www.theclinic.cl/2020/02/02/recicladores-de-base-protagonistas-invisibles-del-reciclaje/>

Cortés, V. (17 de mayo de 2022). Estado de alerta: Chile recicla solo el 1% de los residuos sólidos que genera. *Diario Sostenible*. <https://www.diariosostenible.cl/noticia/actualidad/2022/05/estado-de-alerta-chile-recicla-solo-el-1-de-los-residuos-solidos-que-genera>

Buch, T. (1999), *Sistemas Tecnológicos, contribuciones a una teoría general de la artificialidad*, Aique, Buenos Aires.

Federico Del Giorgio Solfa, Federico Ernesto Lagunas, Ana Inés Lasala (2011). Informe Científico Final: Diseño sustentable: la industria, los consumidores y los profesionales del diseño industrial en el desarrollo de productos y en la preservación del medio ambiente. Palma de Mallorca: Ediciones de la Fundación Càtedra Iberoamericana.

Sánchez Juárez, E. (2011). Diseño sostenible: adaptabilidad y deconstrucción (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Sterling, A. Y. (2004). El desarrollo sostenible, principio y objetivo común de la sociedad y el mercado, en la UE de nuestros días. Foro: *Revista deficiencias jurídicas y sociales*, 75-94.

WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. *Our common future*, 17(1), 1-91.

Rocha Tamayo, E. (2013). *Materiales Sostenibles: principios y guía práctica*. Universidad Piloto de Colombia.

Adams, W. M. (2006) *The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century*. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29-31 Enero 2006

Angarita Hernández, M. F. (2022). Disminución de las emisiones de formaldehído de tableros MDF mediante el uso de catalizador y secuestrante en resina UF y su impacto sobre las propiedades fisicomecánicas [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.

Costa, N. A., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhães, F. D., Mendes, A., & Carvalho, L. H. (2014). Formaldehyde emission in wood based panels: Effect of curing reactions. *International Wood Products Journal*, 5(3), 146-150. <https://doi.org/10.1179/2042645314Y.0000000070>

BEYLERIAN, G., QUINN, B. & DENT, A. (2008). *Ultramateriales : formas en que la innovación en los materiales cambia el mundo*, España, Art Blume, S.L.

Molina Mora, J. (2016). *Desarrollo de un material compuesto basado en carozo de durazno y polipropileno para aplicaciones constructivas*. Memoria de grado. Universidad de Chile, 2016.

ASTM. (1999). D790 Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. In (pp. 31). West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

ASTM. (1999) D6400, Especificación Standard para los plásticos compostables. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

UNE-EN 317:1994 - Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. , (1994b).

UNE-EN 323:1994 - Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad., (1994d).

UNE-EN 13432 - Packaging. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging, (2000).

BRAUNGART, M., & MCDONOUGH, W. (2005). *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna)*. McGrawHill.

KARTON KRAFT. (28 de Julio de 2016). KARTON KRAFT. Recuperado el 2021, de <https://cartonkraft.com.mx/productos/SafeLoad>. (03 de marzo de 2020). Safe Load Testing Technologies. Obtenido de https://www.safeloadtesting.com/es/laboratorio-de-testeo-de-cajas-de-carton-corrugado-que-equiponecesitas/#El_carton_corrugado_caracteristicas_del_material

Gutiérrez, D., & Barraza, S. (2021). *Material compuesto a partir de papel reciclado para la impresión 3D*. Universidad de Chile, Departamento de diseño, Santiago de Chile. Recuperado el 05 de agosto de 2021

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (2016) recuperado el 4 de agosto de 2021. *Guía de educación ambiental y Residuos*. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wpcontent/uploads/2018/08/Guia-de-Educacion-Ambiental-yResiduos.pdf>

FAO. (2012) Recuperado el 5 de agosto de 2021 *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención*. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>

Molina, J. (2016). Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco internos mallados diferentes. Tesis previa a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería mecánica,

Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito.
Henao, D. (2013). RECOLECCIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE PAPEL RESIDUAL Y CARTÓN. Bogotá -Colombia: DESARROLLO ORGANIZACIONAL -UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Doveil F. (1997). Materiali Eco-performativi, Tra ricerca, tradizione e cultura. Domus 789, 52-53

Aguilar, N. (2004). El reciclado de papel y cartón. Elementos 53, 54-56.

Ley 20.920 de 2018. Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Lunes 21 de mayo 2018. D.O. No. 46341.

TRUPAL. (04 de noviembre de 2020). Trupal, profesionales del empaque. Recuperado el 03 de agosto de 2021, de <https://www.trupal.com.pe/blog/descubre-los-beneficios-y-propiedades-del-carton-corrugado-para-embalar/>

Diari de Tarragona. (02 de junio de 2018). Diari de Tarragona. Recuperado el 02 de agosto de 2021, de <https://www.diaridetarragona.com/trending/Conoces-las-propiedades-del-carton-y-como-se-fabrica-20180702-0002.html>

Agrelo, M. (15 de mayo de 2018). ECO-HUELLA. Recuperado el 01 de agosto de 2021, de <https://www.ecohuella.com/2018/05/ecodisenio.html>

KARUBAG. (2021). KARUBAG. Recuperado el 01 de agosto de 2021, de <https://www.karubag.cl/>

CUARTO REPORTE DEL ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE [Fecha de consulta: 5 de febrero de 2021] Residuos Disponible en: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/01/8-residuospdf.pdf>

Guerrero García, M. S. (2014). Desechos pulverizados de MDF para la construcción de complementos decorativos de hogar (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato).