



VALORIZACIÓN DE LA VIRUTA DE RAULÍ Y PINO RADIATA EN EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO Y SU POTENCIAL APLICACIÓN.

Memoria para optar al título profesional de diseñador industrial

Autor
SEBASTIÁN SAN JUAN FIGUEROA

Profesora guía
Andrea Wechsler Pizarro

Santiago, 2021

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, mamá, hermano, tías y tíos por su incondicional apoyo y paciencia en este largo aprendizaje del mundo del diseño.

A mi profesora guía Andrea, por su dedicación, acompañamiento, experiencia y conocimientos entregados.

A las tornerías que contribuyeron en esta investigación, en particular a las tornerías “*El progreso*” y “*Gran Tornería Modelo*” por facilitar el residuo de viruta.

A mis amigas diseñadoras, por su amistad y compañerismo a lo largo de los últimos años.

A Nueve Design Studio, por su consejos, apoyo y empatía.

Y a Sofía, por su eterna compañía.

RESUMEN

El siguiente proyecto tiene el objetivo de revalorizar la viruta de madera generada en tornerías del barrio Matta de Santiago luego que, según un estudio realizado por esta investigación, se revelara la eliminación de aproximadamente 2 toneladas de este residuo en vertederos al año. Como consecuencia, algunos problemas asociados son la lenta biodegradación del residuo de madera (Torres, S., Mondragón, J. y Fuentes, V., 2016) y el impacto ambiental que genera su acumulación, además de la poca eficiencia del uso de la madera, sean exóticas o nativas (Magin, 2002; Leckoundzou et al., 2010).

Para resolver lo anterior, se diseñó un material compuesto basado en virutas de la especie nativa *Nothofagus alpina* (raulí) y la especie exótica *Pinus radiata* (pino radiata) extraídas de las tornerías, las que fueron mezcladas con una espuma biodegradable como aglomerante. Las virutas identificadas son aquellas que más frecuentan en dichos talleres, según el estudio realizado.

La investigación consta de 4 etapas:

La primera etapa consiste en una revisión bibliográfica, que incluye un estudio y análisis del residuo de viruta presente en tornerías del barrio Matta en Santiago.

La segunda etapa, de carácter experimental, permitió la elección del aglomerante de bio espuma conforme a

criterios de sustentabilidad y la caracterización de la viruta de madera, así como la proporción ideal entre sus componentes.

En la tercera etapa se identificaron las propiedades y cualidades del nuevo material compuesto mediante el análisis de ensayos físico-mecánicos, exposición a agentes externos como rayos UV y humedad, pruebas de trabajabilidad y una evaluación perceptual. Los resultados destacaron su resistencia a la humedad, la rigidez, la potencial aislación térmica debido al aglomerante, su buena trabajabilidad, el bajo costo en su producción y la capacidad de generar formas diversas con moldes. A estas características, se debe agregar que es un material 50% vegetal en su composición y es biodegradable, presentándose como una alternativa sustentable en comparación a los tableros de partículas existentes.

Para finalizar, a partir del material caracterizado, se diseñó una potencial aplicación del material compuesto, determinando un ciclo de vida junto a las proyecciones de la investigación.

Palabras claves: material compuesto, viruta de madera, diseño, sustentabilidad, biodegradable.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| TABLA DE CONTENIDOS | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 9 |
| LISTA DE TABLAS | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| Problema | 14 |
| Objetivos de investigación | 15 |
| Objetivo General | 15 |
| Objetivos específicos | 15 |
| CAPÍTULO 1: REVISIÓN DE LITERATURA. | |
| 1. Diseño y sostenibilidad | 17 |
| 1.1 Residuos orgánicos | 17 |
| 1.2 Ecología industrial | 17 |
| 1.3 Producto sostenible | 18 |
| 1.4 Requerimientos para el diseño de un material sostenible | 19 |
| 1.4.1 Fuente de recursos renovables | 19 |
| 1.4.2 Localidad | 19 |
| 1.4.3 Toxicidad del material | 19 |
| 1.4.4 Eficiencia energética | 19 |
| 1.4.5 Durabilidad | 20 |
| 1.4.6 Reciclaje | 20 |
| 1.4.7 Biodegradabilidad | 20 |
| 2. La viruta de madera | 21 |
| 2.1 La industria forestal y el bosque nativo en Chile | 21 |
| 2.2 Bosque nativo | 21 |
| 2.3 Madera nativa chilena | 22 |
| 2.4 Producción y uso de la madera nativa | 22 |
| 2.5 Pino radiata: origen, producción y usos. | 24 |
| 2.6 Impacto ambiental y durabilidad de la madera. | 24 |

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| 2.7 Residuo de la madera | 26 |
| 2.7.1 Tipología de residuos de madera | 26 |
| 2.7.2 Cantidad de residuos generados en aserraderos | 27 |
| 2.7.3 Residuos generados en talleres: tornerías de madera | 27 |
| 2.7.4 Cantidad y tipos de residuos presentes en tornerías | 31 |
| 2.8 Caracterización de la viruta | 34 |
| 2.8.1 Propiedades químicas del pino y raulí | 37 |
| 3. Residuos lignocelulósicos en materiales compuestos | 38 |
| 3.1 Materiales compuestos | 38 |
| 3.1.1 Tipos de adherencia | 38 |
| 3.2 Tableros de partículas en base a fibras de madera | 39 |
| 3.3 Productos diseñados con materiales compuesto en base a fibras de madera recicladas | 41 |
| 3.4 Conclusiones de la revisión de referentes | 45 |
| 4. Aglomerantes adecuados para el material compuesto en base a viruta de madera | 46 |
| 4.1 Requerimientos de un material compuesto basado en viruta de madera | 46 |
| 4.2 Tipos de aglomerantes según su origen | 47 |
| 4.3 Comparación de 6 aglomerantes según requerimientos de diseño | 48 |

CAPÍTULO 2: MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 1. Desarrollo del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí | 52 |
| 1.1 Determinación del tamaño de la viruta y del aglomerante | 53 |
| 1.1.1 Definición del tamaño de la viruta de pino y raulí para la mezcla | 53 |
| 1.1.2 Fabricación de muestras explorando 3 aglomerantes | 55 |
| 1.1.3 Evaluación de cada muestra experimental y elección definitiva del aglomerante | 58 |
| 1.2 Definición de la proporción final de la mezcla | 58 |
| 1.2.1 Preparación de las virutas de raulí y pino para la mezcla | 59 |
| 1.2.2 Elaboración de las muestras con 2 proporciones de aglomerante | 59 |
| 1.3 Ensayos físicos realizados | 61 |
| 1.3.1 Densidad del material compuesto | 62 |
| 1.3.2 Absorción de agua e hinchamiento | 62 |
| 1.4 Pruebas de trabajabilidad | 63 |

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| 1.5 Selección definitiva de la mezcla | 64 |
| 1.6 Exposición a agentes externos: rayos UV y tierra húmeda. | 65 |
| 1.7 Prueba de exposición a químicos | 65 |
| 1.8 Ensayos mecánicos | 66 |
| 2. Caracterización del material compuesto de pino radiata y raulí | 68 |
| 2.1 Análisis de las propiedades mecánicas | 69 |
| 2.1.1 CES EduPack: comparación con materiales similares. | 69 |
| 2.1.2 Exploración de nuevas formas del material, mediante moldes. | 69 |
| 2.1.3 Corte láser y Router CNC | 70 |
| 2.2 Evaluación de propiedades perceptuales | 71 |
| 2.2.1 Diferencial semántico | 71 |
| 3. Diseño de una potencial aplicación del material compuesto | 74 |
| 3.1 Propuestas de aplicaciones del material | 75 |
| 3.2 Diseño de una aplicación del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí | 76 |
| 3.2.1 Aplicación seleccionada | 76 |
| 3.2.2 Conceptualización | 76 |
| 3.2.3 Definición del contexto y el usuario | 76 |
| 3.2.4 Mapa de reconocimiento del concepto en productos similares | 77 |
| 3.2.5 Definición de la morfología del producto | 77 |
| 3.2.6 Render en uso | 78 |
| 3.2.7 Ciclo de vida y cadena de actores | 78 |
| CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | |
| 1. Desarrollo del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí | 80 |
| 1.1 Determinación del tamaño de la viruta y del aglomerante | 80 |
| 1.1.1 Definición del tamaño de la viruta de pino y raulí para la mezcla | 80 |
| 1.1.2 Evaluación de cada muestra experimental y elección definitiva del aglomerante | 80 |
| 1.2 Definición de la proporción final de la mezcla | 84 |
| 1.2.1 Ensayos físicos | 84 |
| 1.2.2 Prueba de trabajabilidad | 86 |
| 1.2.3 Exposición a agentes externos | 92 |

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| 1.2.4 Exposición a químicos | 94 |
| 1.2.5 Ensayos mecánicos | 95 |
| 2. Caracterización del material compuesto | 97 |
| 2.1 Análisis de propiedades mecánicas | 97 |
| 2.1.1 CES EduPack: comparación con materiales similares | 97 |
| 2.1.2. Exploración de nuevas formas del material mediante moldes | 100 |
| 2.1.3 Mecanizado: corte láser y Router CNC | 101 |
| 2.2 Evaluación de propiedades perceptuales | 102 |
| 2.2.1 Diferencial semántico | 102 |
| 3. Diseño de una potencial aplicación del material compuesto | 103 |
| 3.1 Propuesta de aplicaciones del material: matriz de Pugh | 103 |
| 3.2 Diseño de una aplicación del material compuesto basado en viruta de pino y raulí | 103 |
| 3.2.1 Aplicación seleccionada | 103 |
| 3.2.2 Conceptualización | 105 |
| 3.2.3 Mapa de reconocimiento de concepto en productos similares | 105 |
| 3.2.4 Moodboard del concepto <i>Rígido-Lúdico</i> | 107 |
| 3.2.5 Definición de la morfología del producto | 109 |
| 3.2.6 Render de uso | 113 |
| 3.2.7 Opción del fin de vida del material | 114 |
| 3.2.8 Ciclo de vida y cadena de actores de la aplicación | 115 |
| CONCLUSIONES Y PROYECCIONES | 116 |
| LISTA DE REFERENCIAS | 118 |
| ANEXOS | 125 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Economía lineal v/s economía circular | 18 |
| Figura 2: Proporción del bosque nativo respecto al territorio nacional y sus especies abundantes | 21 |
| Figura 3: Evolución de la producción de madera nativa aserrada de especies nativas | 23 |
| Figura 4: Distribución de madera aserrada según especie | 24 |
| Figura 5: El uso de materiales y su emisión de CO ₂ | 25 |
| Figura 6: Estructura macroscópica del tronco | 25 |
| Figura 7: Residuos de madera en aserraderos 2005 y 2015 | 27 |
| Figura 8: Tornerías de madera concentradas en el barrio Matta, Santiago de Chile. | 28 |
| Figura 9: Acumulación de viruta de tepa producto del trabajo en torno en “ <i>Gran tornería Modelo</i> ” | 29 |
| Figura 10: Viruta de lenga generada por cepillo eléctrico, junto con otros desechos en “ <i>Tornería Ébano</i> ” | 29 |
| Figura 11: Espacio de trabajo del tornero en “ <i>Tornería Ébano</i> ”. Aserrín, viruta y trozos de madera en el suelo | 30 |
| Figura 12: Balaustres de pino radiata en “ <i>Tornería El Progreso</i> ” | 30 |
| Figura 13: Sacos de viruta de pino radiata dispuesto para su retiro “ <i>Tornería Virgo</i> ” | 30 |
| Figura 14: 10 Sacos con residuos de 3 semanas pertenecientes a 2 tornerías | 31 |
| Figura 15: Trozos de madera contenidos en uno de los sacos de Tornería “ <i>El Progreso</i> ” | 32 |
| Figura 16: Piezas torneadas contenidas en uno de los sacos de Tornería “ <i>El Progreso</i> ” | 32 |
| Figura 17: Porción de trozos de astillas contenidas en uno de los sacos de “ <i>Gran Tornería Modelo</i> ” | 32 |
| Figura 18: Tipología y cantidad de residuos de un saco | 33 |
| Figura 19: Sacos de residuos pertenecientes a 4 meses de trabajo en tornería “ <i>Gran Tornería Modelo</i> ” | 34 |
| Figura 20: Medición de gubias | 34 |
| Figura 21: Gubias grandes usadas en “ <i>Tornería Ébano</i> ” | 37 |
| Figura 22: Tableros de MDF | 39 |
| Figura 23: Diseño de mobiliario con tableros OSB | 40 |
| Figura 24: Molde que contiene los trozos de madera en desuso para ser aplicada la resina | 41 |
| Figura 25: Taburetes Zero Per Stool | 41 |
| Figura 26: Torneado de patas para sillas y reutilización de sus residuos | 42 |
| Figura 27: Well Proven Chair | 42 |
| Figura 28: Generación de moldes, prensado y resultados de EntreNiebla | 43 |
| Figura 29: Espuma celulósica para aislamiento térmico | 44 |
| Figura 30: Aglomerantes de origen sintético | 47 |
| Figura 31: Aglomerantes de origen natural | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 32: Tamices utilizados para definir el tamaño de la viruta del material compuesto | 54 |
| Figura 33: Triturado de las virutas | 54 |
| Figura 34: Diagrama sobre la definición del tamaño de viruta de pino y raulí | 55 |
| Figura 35: Ejemplo de codificación de las probetas | 56 |
| Figura 36: Aglomerantes explorados y utensilios necesarios para la mezcla | 57 |
| Figura 37: Molde para muestras de 10 x10 cm | 57 |
| Figura 38: Proceso de prensado | 57 |
| Figura 39: Definición de la proporción final de la mezcla | 58 |
| Figura 40: Mezcla de la muestra ES50VI50 | 60 |
| Figura 41: Prensado de las muestras de bioespuma | 60 |
| Figura 42: Muestras dimensionadas para ensayos | 61 |
| Figura 43: Absorción de agua e hinchamiento | 62 |
| Figura 44: Herramientas utilizadas para las pruebas de trabajabilidad de las muestras | 64 |
| Figura 45: Pieza cilíndrica para prueba en torno | 64 |
| Figura 46: Exposición a agentes externos: tierra húmeda | 65 |
| Figura 47: Exposición a agentes externos: rayos UV | 65 |
| Figura 48: Exposición a químicos | 66 |
| Figura 49: Tipo de probeta usada para ensayos de flexión y tracción | 67 |
| Figura 50: Molde con doble curva, molde cilíndrico y molde semiesférico | 70 |
| Figura 51: Prueba del material en corte láser | 70 |
| Figura 52: Prueba del material en Router CNC | 71 |
| Figura 53: Capturas del video utilizado para encuestas | 72 |
| Figura 54: Imagen adjunta en encuesta de diferencial semántico | 73 |
| Figura 55: Mapa de reconocimiento del concepto en productos similares | 77 |
| Figura 56: Determinación del tamaño de la viruta | 80 |
| Figura 57: Gráfico comparativo de densidades | 85 |
| Figura 58: Gráfico comparativo de absorción de agua e hinchamiento | 86 |
| Figura 59: Corte con sierra caladora para muestra con 60% de viruta | 87 |
| Figura 60: Corte con sierra caladora para muestra con 50% de viruta | 87 |
| Figura 61: Corte con sierra circular para muestra con 60% de viruta | 87 |
| Figura 62: Corte con sierra circular para muestra con 50% de viruta | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 63: Perforado en muestra con 60% de viruta | 88 |
| Figura 64: Perforado en muestra con 50% de viruta | 88 |
| Figura 65: Pieza torneada | 90 |
| Figura 66: Antes y después de exposición a rayos UV | 92 |
| Figura 67: Antes y después de exposición a tierra húmeda | 93 |
| Figura 68: Comparación de MOE | 96 |
| Figura 69: Comparación de MOR | 96 |
| Figura 70: Comparación de ensayo de tracción | 97 |
| Figura 71: Comparación con materiales similares según MOE | 98 |
| Figura 72: Comparación con materiales similares según MOR | 98 |
| Figura 73: Comparación con materiales similares según tracción | 99 |
| Figura 74: Resultado molde de doble curva | 100 |
| Figura 75: Resultado de molde cilíndrico | 100 |
| Figura 76: Resultado de molde semiesférico | 100 |
| Figura 77: Resultado de muestra en Router CNC | 101 |
| Figura 78: Resultado de muestra en corte láser | 101 |
| Figura 79: Altura de niños de 2 y 5 años percentil 50 | 104 |
| Figura 80: Concepto de la aplicación seleccionada | 105 |
| Figura 81: Mapa de reconocimiento de conceptos en juguetes | 106 |
| Figura 82: Modeboard del concepto | 107 |
| Figura 83: Diseño de juguete por Cas Holman | 108 |
| Figura 84: Bocetos | 109 |
| Figura 85: Modelado 3D de propuestas | 110 |
| Figura 86: Experimentación de moldes | 112 |
| Figura 87: Desarrollo morfológico de la propuesta | 112 |
| Figura 88: Render en uso | 113 |
| Figura 89: Opción del fin de vida del material | 114 |
| Figura 90: Ciclo de vida y cadena de actores | 115 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Resumen de criterios para un diseño sostenible | 20 |
| Tabla 2: Ficha descriptiva de maderas nativas usadas en ebanistería y carpintería | 23 |
| Tabla 3: Registro de desechos de 2 tornerías al mes | 33 |
| Tabla 4: Medición de tipos de gubias y tipo de viruta generada. Elaboración propia | 35 |
| Tabla 5: Densidad, cantidad de celulosa, lignina y hemicelulosa presente en pino radiata y raulí | 37 |
| Tabla 6: Requerimientos del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí | 46 |
| Tabla 7 Comparación de aglomerantes seleccionados según requerimientos | 48 |
| Tabla 8: Evaluación de aglomerantes por cada requerimiento | 50 |
| Tabla 9: Etapa 1 de los métodos | 52 |
| Tabla 10: Códigos de muestras experimentales y porcentajes de aglomerante y viruta | 56 |
| Tabla 11: 2 proporciones de la mezcla seleccionadas para su evaluación | 59 |
| Tabla 12: Muestras comparadas en ensayos físicos | 61 |
| Tabla 13: Etapa 2 de los métodos | 68 |
| Tabla 14: Diferencial semántico | 72 |
| Tabla 15: Etapa 3 de los métodos | 74 |
| Tabla 16: Matriz de Pugh elaborada para la investigación | 75 |
| Tabla 17: Evaluación de experimentación con 3 aglomerantes | 81 |
| Tabla 18: Ensayos físicos | 84 |
| Tabla 19: Ensayo de absorción de agua e hinchamiento | 85 |
| Tabla 20: Evaluación del trabajo de lijado en muestras | 89 |
| Tabla 21: Evaluación de la trabajabilidad del as muestras según grado de defecto | 91 |
| Tabla 22: Resultados de la exposición a químicos | 94 |
| Tabla 23: Resultados de ensayo de flexión | 95 |
| Tabla 24: Resultado de ensayo de tracción | 96 |
| Tabla 25: Resultados de diferencial semántico | 102 |
| Tabla 26: Resumen de resultados matriz de Pugh | 103 |
| Tabla 27: Cálculo de volumen y masa del producto diseñado | 111 |

INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto surge ante la necesidad de resignificar el residuo de viruta de madera generado en grandes cantidades por tornerías del sector de barrio Matta en Santiago, evitando su desecho. Para resolver este problema se diseñó un material compuesto en base a este residuo mezclado con un aglomerante bajo criterios de sustentabilidad, para finalmente proponer una aplicación del uso del material.

La mayoría de los residuos generados producto de la primera troza del árbol en los aserraderos tiene una nueva vida útil, principalmente en la fabricación de tableros de partículas posteriormente comercializados o para la generación de pulpa y celulosa, como es el caso de la especie *Pinus radiata* (Madera Nacional, 2020; INFOR, 2016). Sin embargo, según se revela en un estudio de esta investigación, este reciclaje no ocurre con la madera usada en las tornerías del sector mencionado, donde se eliminan en vertederos cerca de 2 toneladas de viruta al año.

Lo anterior se convierte en un problema por la cadena de sucesos que significa: La acumulación del residuo en vertederos se agrava por su lenta biodegradabilidad y por el daño que ocasionan los residuos orgánicos al ser los principales gestores de gases de efecto invernadero (Torres et al., 2020; Fundación basura, 2019).

Por otro lado, toma relevancia el tipo de madera que se usa en tornerías y sus residuos no aprovechados, identificados en esta investigación: Pino radiata y raulí (*Nothofagus alpina*). El pino radiata proviene de un sistema de monocultivo que causa un perjuicio en la biodiversidad del ecosistema (Muñoz et al., 1996) y el raulí corresponde a una especie nativa, cuya madera se debe evitar desperdiciar con el fin de resguardar al máximo la conservación de bosques nativos (Hoffman, 2005).

En respuesta a estos eventos, se generó un material compuesto del residuo tipo viruta de la madera, que extiende la vida útil del residuo mediante una potencial aplicación. Para esto, se contempla un diseño sostenible basado en la ecología industrial, en donde cada etapa del ciclo de vida del producto, particularmente en la producción, se consideran decisiones que respeten el entorno y optimicen los recursos utilizados (Cervantes, 2013; Rognoli et al., 2014).

PROBLEMA

A continuación se describen los problemas que sustentan la investigación, asociados a la generación del residuo de viruta en tornerías del barrio Matta en Santiago de Chile:

- a. El problema central de la investigación radica en que las tornerías del barrio Matta en Santiago eliminan cerca de 2 toneladas de viruta de madera en vertederos en 1 año, de acuerdo con datos obtenidos en un estudio de esta investigación.
- b. De los 38 rellenos sanitarios en el año 2016 en Chile, más del 50% de los desechos correspondieron a residuos orgánicos. Éstos son los principales gestores de gases de efecto invernadero que propician el cambio climático (Fundación basura, 2019).
- c. Sumado a lo anterior, debe considerarse la lenta e impredecible biodegradación de la madera que, sumada a la acumulación anual del residuo de viruta, causa un daño al medioambiente. Por ejemplo, una estaca tarda entre 2 a 3 años en degradarse y si tiene un sellador, esto puede extenderse hasta 15 años (Torres, S., Mondragón, J. y Fuentes, V., 2016).
- d. Otro problema está vinculado al tipo de madera que se elimina en vertederos. Según el estudio realizado por esta investigación, las maderas usadas más frecuentemente en tornerías son *Nothofagus alpina* o raulí (madera nativa) y *Pinus radiata* o pino radiata (especie exótica):
 - En el caso de la madera nativa, a pesar que en los últimos años su producción en aserraderos disminuyó al 1,2% del total (INFOR, 2018) es necesario contribuir a la conservación de estas especies.
 - Por otra parte, la especie exótica de pino radiata, que abarca alrededor del 95% de la producción en aserraderos (INFOR, 2018) es parte de un sistema de monocultivo que afecta la biodiversidad del ecosistema (Muñoz et al., 1996). El desaprovecho de su madera, incluyendo sus residuos, contribuye a la constante plantación y tala de este árbol y la perseverancia del monocultivo.
- e. El desaprovecho de la viruta de madera puede extrapolarse a otros contextos fuera de las tornerías, ya que estudios estiman que solo el 50% de un árbol cortado se usa como madera o se recupera (Magin, 2002; Leckoundzou et al., 2010).

Estos acontecimientos hacen indispensable extender la vida útil del residuo de viruta de madera proveniente de las tornerías.

OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Revalorizar el residuo de viruta generado por tornerías del barrio Matta en Santiago de Chile, mediante la generación de un material compuesto y el diseño de su potencial aplicación que extienda la vida útil del residuo y evite el impacto ambiental que causa su eliminación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Generar un estudio del residuo de madera producido en tornerías y los posibles aglomerantes sujetos a criterios de sustentabilidad, para desarrollar el nuevo material compuesto.
2. Desarrollar el material compuesto basado en el residuo de madera identificado, mediante la exploración y evaluación de aglomerantes y definiendo la proporción de la mezcla.
3. Caracterizar el material a través de la evaluación y análisis de sus propiedades físico-mecánicas, su resistencia a agentes externos, su trabajabilidad y métodos de conformado.
4. Diseñar una potencial aplicación del material compuesto conforme a su caracterización, definiendo un ciclo de vida que extienda la vida útil del residuo, para su validación.

Cada objetivo específico se configura como una etapa de la investigación. De este modo el método de investigación tuvo 4 etapas:

La primera etapa consiste en realizar un catastro del residuo de viruta de madera en tornerías del barrio Matta en Santiago, además de analizar los posibles aglomerantes para el material compuesto.

La segunda etapa, de carácter exploratorio, se divide en 2: Por una parte establece el tipo de aglomerante y el tipo de residuo; por otra parte, la proporción de la mezcla.

La tercera etapa, define la caracterización del nuevo material. Describe su resistencia a ensayos físico-mecánicos, a agentes externos como rayos UV o humedad, su trabajabilidad, los métodos de conformado y cómo es percibido.

La cuarta y última etapa, consiste en el planteamiento de propuestas de diseño conforme a las características que ofrece el material y a los requerimientos de sustentabilidad establecidos.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN DE LITERATURA



1. DISEÑO Y SOSTENIBILIDAD

La extracción de recursos naturales, necesarios para el desarrollo de nuestra vida, se convierte en un gran problema para el medio ambiente y para los seres humanos cuando se sobreexplotan. Una de las consecuencias es la escasez de recursos, la contaminación del medio ambiente o el excesivo aumento de residuos.

1.1 Residuos orgánicos.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, se define “residuo” como dichas materias primas que no tienen valor económico en el contexto en que fueron producidas o que su propietario bota por no serle útil. Aunque esta definición deja al margen los posibles nuevos usos que pueden surgir de un residuo como materia prima.

Según el Banco Mundial se estima que para el año 2050 los residuos generados a nivel planetario crecerán un 70%, a menos que se adopten serias medidas (Banco Mundial, 2018). En el caso de Chile se generan alrededor de 17 millones de toneladas de residuos sólidos al año. Visto de otro modo, cada habitante genera un kilo de basura aproximadamente al día (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Esto nos ubica como el segundo país de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico que más arroja basura a los rellenos sanitarios, después de Turquía (OCDE, 2016).

Algunas leyes chilenas para la protección del medioambiente como la Ley de fomento al reciclaje (2016) busca otorgar más responsabilidades a los productores y a instrumentos que gestionan los residuos, no obstante, esta regulación sólo considera a residuos inorgánicos producidos por industrias en grandes cantidades y que tienen una larga descomposición por sus materiales. Aunque concierne a los principales causantes de un impacto ambiental, existen residuos orgánicos (residuos biodegradables de origen animal o vegetal) que también tienen una lenta degradación, como es el caso de la madera.

En Chile hubo 38 rellenos sanitarios en el año 2016, donde más del 50% de los desechos corresponde a residuos orgánicos. La gravedad radica en que son los principales gestores de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y que propician el cambio climático. Cabe indicar que en el año 2014 existían 25 rellenos sanitarios y 34 para el año 2015 (Fundación Basura, 2019).

1.2 Ecología Industrial

Con la finalidad de reducir el impacto ambiental generado por las industrias se propone como alternativa el concepto de “ecología industrial”, el que plantea 3 estrategias: el diseño que debe considerar siempre la protección del medio ambiente (“eco diseño”), la gestión medioambiental y los procesos más limpios (Cervantes, 2013).

El proceso plantea que no existan residuos sin un nuevo ciclo en las industrias, es decir, propone tomar el residuo que se genere y darle una nueva utilidad, adoptando un sistema de economía circular en vez de lineal (ver figura 1). De esta forma se presenta como una alternativa sostenible y ecoeficiente. Ecoeficiencia se define como la orientación a reducir el impacto ambiental en las diferentes etapas de vida de los productos o servicios, controlando su calidad y características (Campos & Gómez, 2004).

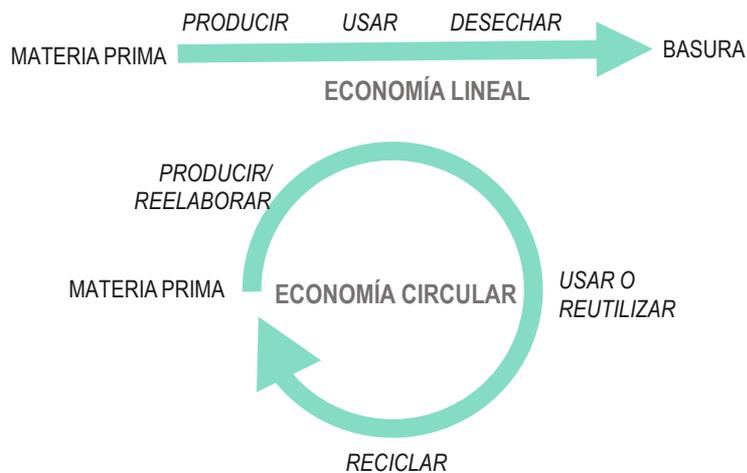


Figura 1: Economía lineal v/s economía circular (Frosch, 1992).

En definitiva lo que se busca es disminuir los recursos, la energía invertida en los procesos y proteger la salud humana y al medio ambiente, entregando estrategias desde el diseño de los productos y servicios (Campos & Gómez, 2004).

1.3 Producto sostenible

Un desarrollo sostenible, según Brundtland, permite solventar las necesidades de la actualidad sin perjudicar a las personas del futuro y el satisfacer de sus necesidades (ONU, 1987).

Gran parte de los productos y servicios han sido diseñados desde su concepción con un ciclo de vida lineal, con la finalidad de ser lanzado al mercado y tener éxito en las ganancias. Lamentablemente, al no considerar un ciclo circular, seguirán obteniéndose los resultados perjudiciales para el hombre y el medioambiente (McDonough & Braungart, 2005)

Una de las estrategias pilares de la ecología industrial es el “diseño respetuoso con el medio ambiente”, cayendo directamente la responsabilidad en el trabajo del diseñador industrial. Es a través de las decisiones de diseño donde radica el deber de proyectar las consecuencias del producto o servicio diseñado considerando siempre que puede influir de gran manera a la vida del usuario y en el uso sostenible de los recursos (Karana, Pedgley & Rognoli, 2014).

Para esto, es necesario contemplar estos requerimientos en cada etapa de vida del producto,

desde la extracción de su materia prima, considerando la producción, el uso que tendrá, hasta el modo en que se elimine el producto desechos (Balboa & Somonte, 2014).

Algunos de las oportunidades que otorga este método son disminuir los costos de producción y recursos, la posibilidad de innovación en las materias primas, prolongar la vida útil de los productos y reducir el costo energético en los procesos, además de la reducción de residuos y desechos (Balboa & Somonte, 2014).

1.4 Requerimientos para el diseño de un material sostenible

Para diseñar un producto que tenga un bajo impacto ambiental a lo largo de las etapas de su vida, es necesario tomar en cuenta algunos criterios basados en la sostenibilidad, los que serán aplicados en el desarrollo del nuevo material compuesto.

1.4.1 Fuentes de recursos renovables

Corresponden a recursos materiales de fuentes que se vuelven a generar de forma natural y en donde la cantidad extraída es inferior a la cantidad regenerada (Vezzoli, 2014). Sin embargo, no todos los recursos renovables alcanzan a regenerarse. Tal caso puede ocurrir en la industria forestal, donde los recursos que se consideran renovables no se regeneran a tiempo producto de la sobreexplotación y deforestación.

Optar por recursos materiales de fuentes renovables

reduce el uso de los recursos no renovables (Ashby and Johnson, 2002).

1.4.2 Localidad

Si la materia prima necesaria es local, colabora en la sostenibilidad del producto a lo largo de sus etapas, ya sea por reducir costos y accesibilidad, por su transporte o al involucrar agentes locales en el proceso de obtención de materia prima, elaboración y venta del material (Vezzoli, 2014).

1.4.3 Toxicidad del material

Es fundamental que el material, en todo su ciclo de vida, no emane sustancias tóxicas o nocivas para quienes las manipulen o para el medio ambiente (Ashby and Johnson, 2002, Vezzoli, 2014).

1.4.4 Eficiencia energética

Dar preferencia a fuentes de recursos renovables, emplear eficientemente los recursos e insumos energéticos durante la extracción de la materia prima, el transporte, la elaboración y producción del material con el objetivo de ahorrar energía entregando autonomía al proceso de producción (Rojas Zerpa, 2016, Aranda and Zabalza, 2010).

1.4.5 Durabilidad

Considerar que el material tenga una vida útil prolongada evitará que se genere otro ciclo de producción (Vezzoli, 2014). Sin embargo, este criterio dependerá de la aplicación que tendrá el material ya que si su vida útil es corta, una lenta degradación afectará al medio ambiente.

1.4.6 Reciclaje

Reciclar consiste en reincorporar un residuo a un nuevo proceso productivo. También es la forma de eficiente de entregar un valor a los residuos (Ashby and Johnson, 2002).

El uso de residuos de otros procesos para un nuevo material, es la forma de evitar desechar los residuos a un vertedero permitiendo sustituir el uso de materias primas vírgenes, ahorrando energía y reduciendo un impacto ambiental. Es necesario que esto ocurra a una escala industrial (Ashby and Johnson, 2002, Vezzoli, 2014).

1.4.7 Biodegradabilidad

Para que un material se reincorpore al ecosistema, necesita descomponerse en CO₂ y agua por acción de microorganismos en un corto a mediano plazo. Un material orgánico, de origen natural, tiene la ventaja de degradarse (Ashby and Johnson, 2002).

Tabla 1: Resumen de criterios para un diseño sostenible

| RESUMEN DE CRITERIOS PARA UN DISEÑO SOSTENIBLE |
|--|
| • Optar por recursos naturales renovables |
| • Usar materia prima local |
| • Reutilizar residuos para entregarle una nueva vida útil. |
| • Materiales y procesos inofensivos y no tóxicos. |
| • Optimizar recursos y procesos para el ahorro energético en los procesos. |
| • Considerar el reciclaje o la biodegradabilidad del material para el final de su vida útil. |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Ashby y Johnson, 2002; Vezzoli, 2014; Aranda y Zabalza, 2010; Rojas Zerpa, 2016).

2. LA VIRUTA DE MADERA

A continuación se expone el contexto donde surge la viruta de madera como materia prima del nuevo material, la primera cadena de actores que forman parte del ciclo de vida y cifras que respaldan la necesidad de evitar su desecho.

2.1 La industria forestal en Chile.

La Corporación Chilena de la Madera (CORMA), reúne a 190 instituciones vinculadas al sector forestal privado. Éstas corresponden al 55% de las hectáreas plantadas de Chile y permiten el 85% de las exportaciones forestales (CORMA, 2018). En Chile el sector forestal ocupa el tercer puesto en materia de exportación, después de la minería y la industria de alimentos industriales, siendo el primero en basarse en recursos naturales renovables (CORMA, 2018).

En cuanto a sustentabilidad, la industria forestal está condicionada a considerar un ciclo renovable de plantar y cosechar, de hecho, se estima que entre 1994 y 2002 la tasa de plantación era de 94 mil hectáreas al año, versus la de cosecha de 46 mil. Es decir que por cada árbol que fue cortado se plantaron dos (INFOR, 2018).

2.2 Bosque chileno

El 23,3% de la superficie del territorio chileno es bosque (17,6 millones de hectáreas), donde 19% corresponde a bosque nativo (14,6 millones de hectáreas) y 4,3% corresponde a especies exóticas o introducidas. Las

especies nativas que se encuentran en mayor cantidad son Lengua (24,9%), tipo forestal Siempre verde (24%), Coihue de Magallanes (13,7%) y cercano al 11% está el Roble, Raulí y Coihue (Enersis, 2008; CONAF, 2017). Es posible dimensionar la proporción que ocupa en el territorio continental en la figura 2.

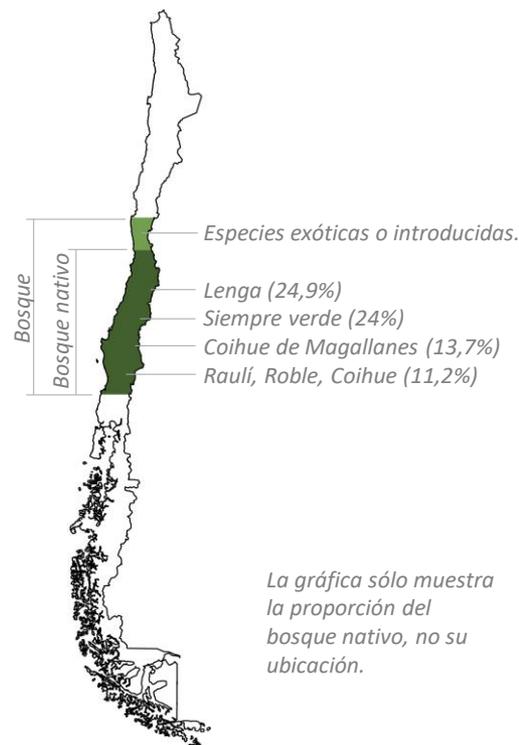


Figura 2: Proporción del bosque nativo respecto al territorio nacional y sus especies abundantes. Elaboración propia a partir de (Enersis, 2008; CONAF, 2017).

75 especies de madera nativas se registran en “Árboles Nativos de Chile” (Enersis, 2008), donde 17 se encuentran en peligro o en una situación vulnerable. Entre algunos de los principales factores que causan este daño está la quema y tala indiscriminada de árboles, la expansión de la ciudad y la existencia de otras zonas deforestadas para la actividad agrícola y ganadera (Enersis, 2008).

2.3 Madera nativa chilena

Mediante el registro de diversas especies nativas chilenas con sus características, hábitat y aplicaciones, se reconocen 34 árboles nativos, distribuidos principalmente en la zona centro-sur del país (Hoffman, 2005).

Algunas de las características que permiten distinguir una madera de otra son el color, el olor, la forma de sus vetas, su dureza, su trabajabilidad, o su ligereza. Sin embargo no necesariamente todas resaltan por características perceptuales, por ejemplo, la madera de Tepa tiene un olor poco agradable y se daña fácilmente con la humedad. Su apreciación, así como la de otras maderas nativas, está centrada en sus aplicaciones o su trabajabilidad (Hoffman, 2005).

Son las características de ciertas maderas nativas chilenas las que pueden explicar su valorización en comparación a maderas exóticas o introducidas. Algunas características son su difícil regeneración y por lo tanto, escasez y exclusividad del producto; su valor estético por sus colores atractivos, la forma de las

vetas (o la ausencia de éstas) y su olor; la facilidad de trabajar la madera o la resistencia mecánica que ofrecen algunas. Si todas o la mayoría de estas características se encuentran en 1 madera nativa, probablemente ésta sea una de las más requeridas.

2.4 Producción y uso de madera nativa.

Durante el año 2017 hubo 1.056 aserraderos en Chile, encargados de trozar y procesar la madera. Éstos se distribuyen desde la región de Magallanes hasta la de Valparaíso, incluyendo la Antártica chilena. El mismo año, se generaron 8,2 millones de m³ de madera trozada, entre las que se encuentran especies exóticas y madera nativa (INFOR, 2018).

La producción de madera nativa en aserraderos llegó al nivel más bajo de los últimos diez años comparada con la de madera exótica. Esta última corresponde al 98,8% del total nacional (8,1 millones de m³), mientras que la madera nativa representa el 1,2% (101.118 m³). (INFOR, 2018). En el siguiente gráfico se aprecia la disminución del uso de maderas nativas chilenas presentes en aserraderos chilenos a lo largo de una década (ver figura 3).

Evolución de la producción de madera aserrada de especies nativas

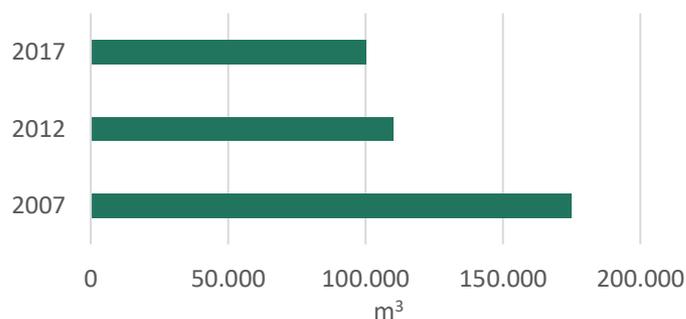


Figura 3: Evolución de la producción de madera nativa aserrada de especies nativas. Elaboración propia a partir de (INFOR, 2018).

De acuerdo a la figura 3 es posible inferir que las cifras en proyección a unos años resultan favorables para la conservación de las especies nativas. Por otra parte, el valor comercial de las maderas nativas debido a su gradual escasez elevará su costo comercial (y por ende, su apreciación), conformándose así la necesidad de aprovechar la madera producida y sus residuos.

En cuanto a los usos de la madera nativa, dependerá de cada especie y sus propiedades. A continuación se mencionan 20 árboles nativos cuyas características y propiedades hacen que su madera sea mayormente utilizada en carpinterías y ebanistería (ver tabla 3). Es posible reconocer en el listado a los árboles que más abundan en el bosque nativo, mencionados anteriormente (marcados en verde), los que también son usados en estos oficios.

Tabla 2: Ficha descriptiva de maderas nativas usadas en ebanistería y carpintería

| Nombre científico | Otras denominaciones |
|---------------------------------|---|
| <i>Austrocedrus chilensis</i> | Lahuán, ciprés de cordillera, ciprés. |
| <i>Drimys winteri</i> | Canelo de Magallanes, boighe, fuñe. |
| <i>Embothrium coccineum</i> | Ciruelillo, notro, fosforito. |
| <i>Fitzroya cupressoides</i> | Alerce, lahuén. |
| <i>Gevuina avellana</i> | Avellano, guevín, nefuén. |
| <i>Laureliopsis philippiana</i> | Tepa, laurela, huahuán |
| <i>Laurelia sempervirens</i> | Laurel chileno, trihue. |
| <i>Lomatia ferruginea</i> | Fuinque, huinque, romerillo. |
| <i>Lomatia hirsuta</i> | Radal, nogal, nogal silvestre. |
| <i>Nothofagus alpina</i> | Raulí, roble, ruilí |
| <i>Nothofagus betuloides</i> | Coigüe de Magallanes, guindo. |
| <i>Nothofagus dombeyi</i> | Coigüe o coihue. |
| <i>Nothofagus nítida</i> | Roble de Chiloé, coigüe. |
| <i>Nothofagus oblicua</i> | Roble Pellín, hualle, coyán, pellín. |
| <i>Nothofagus pumilio</i> | Lenga, roble de Magallanes. |
| <i>Persea lingue</i> | Lingue, liñe. |
| <i>Podocarpus nubigena</i> | Mañío hembra, pino amarillo, pino. |
| <i>Podocarpus saligna</i> | Mañío, pino blanco, pino de hojas largas. |
| <i>Prumnopytis andina</i> | Lleuque. |
| <i>Saxe-gothea conspicua</i> | Mañío macho, hojas cortas. |

TABLA 3: Ficha descriptiva de maderas nativas usadas en ebanistería y carpintería. Elaboración propia a partir de (Hoffman, 2005).

En el caso de otras especies nativas sus características también son aprovechadas en otras áreas.

Características como la resistencia a humedad, ligereza, dureza, la capacidad de pigmentación con su corteza permitirá su uso en, por ejemplo, embarcaciones, curtidería, luthería, fabricación de barriles, chapas, instrumentos musicales, leña, mangos de herramientas, entre otros.

2.5 Pino radiata: origen, producción y usos.

Paralelamente a las especies nativas, están las plantaciones forestales de especies exóticas. Éstas corresponden alrededor del 4,3% del total del territorio chileno, destacando las plantaciones de las especies *Pinus Radiata* (60%), *Eucalyptus globulus* (23%) y *Eucalyptus nitens* (10,1%) (INFOR, 2015).

La madera de pino radiata (*Pinus radiata*) proviene de California y fue introducida en Chile hace décadas, obteniendo buenos resultados, adaptándose y desarrollándose en ambientes húmedos. Chile está posicionado como uno de los principales productores de esta madera gracias a forestales dedicadas a su plantación (Madera Nacional, 2020).

Debido al rápido crecimiento del árbol, la trabajabilidad de la madera y su amplio uso, no tiene un gran costo en contraste a otras maderas nativas. La madera de pino radiata es usada en construcción, en la creación de tableros contrachapados, en la generación de pulpa y celulosa, entre otras aplicaciones (Madera Nacional, 2020). Esto implica que su demanda sea alta en contraste con otras especies, de hecho la madera de

pino radiata abarca alrededor del 95% de la producción en aserraderos, comparada con la presencia de otras especies exóticas y maderas nativas (ver figura 4).

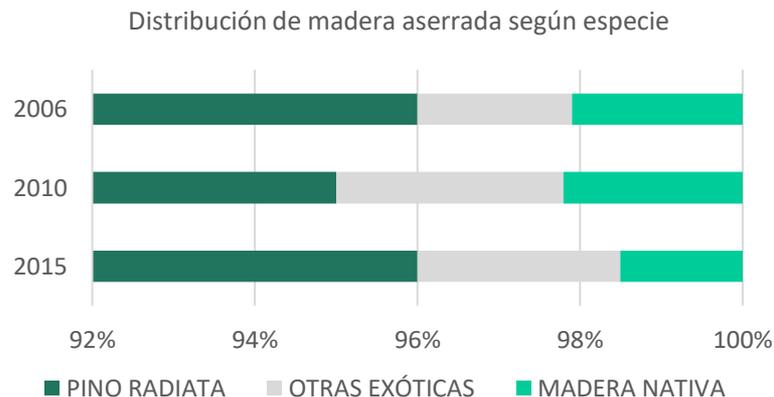


Figura 4: Distribución de madera aserrada según especie. Elaboración propia a partir de (INFOR, 2016).

De acuerdo con las cifras presentadas en el gráfico anterior es posible inferir que la mayor cantidad de residuos que se generarían en talleres de carpintería o ebanistería pertenecerán a residuos de pino radiata, dejando en menor cantidad residuos de maderas nativas y otras especies exóticas.

2.6 Impacto ambiental y durabilidad de la madera.

El uso de madera tiene ventajas significativas con otros materiales, principalmente por su origen natural y por ser un recurso renovable. Los árboles que se encuentran en una etapa de crecimiento tienen mayor capacidad de absorber el carbono en comparación a las

especies maduras, por esto es relevante mantener plantaciones forestales que ayudarán a la reducción de gases de efecto invernadero (Madera21, 2018).

La madera como material constructivo se constituye como una alternativa importante que deja una baja huella de carbono, ya que es la única que colabora a bajar los niveles de CO₂ en la atmósfera, logrando mitigar el cambio climático (Madera21, 2018). Desde una perspectiva medio ambiental comparando los materiales, convendrá utilizar madera por sobre el concreto o el acero. El concreto liberará 15 libras más de CO₂ por cada 1 ft² en comparación a la madera. A su vez, el acero liberará 22 libras más de CO₂ por cada 1 ft² en comparación a la madera (Lippke y Edmonds, 2009). Lo anterior se grafica en la figura 5.

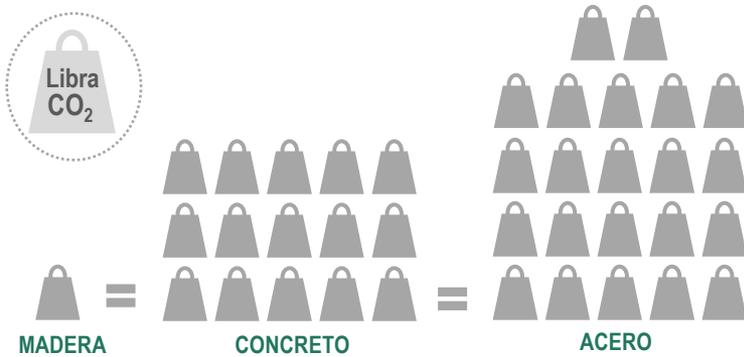


Figura 5: El uso de materiales y su emisión de CO₂. Elaboración propia a partir de (Lippke y Edmonds, 2009).

Cabe señalar que el estudio anterior compara un revestimiento de OSB para el caso de la madera,

destacando el valor de su residuo.

Otro factor que determina el impacto ambiental de la madera es la **durabilidad y su degradación**. La durabilidad natural consiste en la capacidad que tiene la madera para soportar la acción de la intemperie y el ataque de organismos y microorganismos. La resistencia de la madera dependerá de la composición química de la pared celular, la permeabilidad, de cuán húmeda está y cuál es su temperatura (Findlay, 1985).

Un estudio de la Universidad de Chapingo en México (2001) evaluó la durabilidad de las 4 capas de los árboles (figura 6) en 5 especies nativas de dicho país. Los valores promedio arrojaron que la durabilidad natural de la madera de duramen fue de 20% a 60% más que la de albura (Honorato, J. y Vásquez, L., 2001). Esto significa que, además de los factores mencionados, el tipo de capa del árbol que tenga el residuo condiciona el tiempo de su degradación.

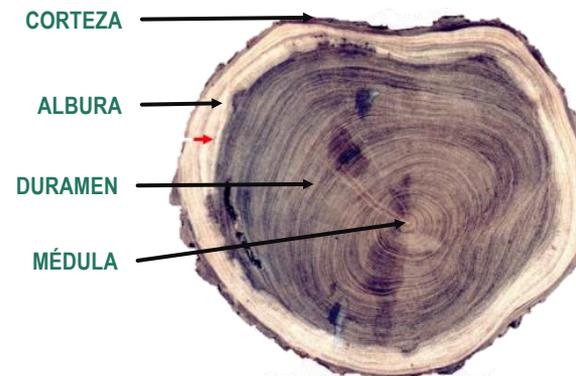


Figura 6: Estructura macroscópica del tronco. Basado en (Giménez et al., 2005).

Otra referencia que se hace sobre la descomposición de la madera describe que una estaca de madera se puede descomponer en **2 o 3 años**. En caso de que tenga un sellador como pintura, puede extenderse hasta 15 años (Torres, S., Mondragón, J. y Fuentes, V., 2016).

Con la información anterior es posible asegurar que el residuo de madera dependerá de múltiples factores para determinar el tiempo de su descomposición natural, lo que hace imprescindible extender su vida útil, evitando su acumulación en vertederos.

2.7 Residuo de madera:

Encontrando una oportunidad en la resignificación del residuo de madera, a continuación se describirán los tipos de residuos que dejan las maderas y el impacto ambiental que provoca su desecho.

2.7.1 Tipología de residuos de madera

Para aproximarse al tipo de materia prima que tendrá el nuevo material, es necesario conocer los tipos de residuos que deja la madera como consecuencia de los procesos que se le da.

Se describe como Productos Primarios del Bosque Nativo a aquellos productos que se obtienen directamente del bosque en aserraderos o que pasaron por un primer procesamiento. Así se encuentran 7 residuos madereros: corteza, lampazo, despunte, tapa, astilla, viruta y aserrín (CONAF, 2013; INFOR, 2016).

- **Corteza:** Capa más externa de la madera. Existen aserraderos con la tecnología para descortezar la madera, originando este residuo.
- **Lampazo:** Sección lateral de la troza obtenida del aserrío, con 1 cara libre de corteza.
- **Despunte:** Proviene de secciones terminales de piezas, resultantes del dimensionado de la madera.
- **Tapas:** corresponden a secciones laterales de la troza, caracterizadas por tener dos caras limpias, libres de corteza.
- **Astillas:** Trozos de madera de menor dimensión. De aquí se obtiene la celulosa para la fabricación de papel. Chile es el 3er país exportador de astillas del mundo.
- **Viruta:** Son hojas o cintas delgadas de un espesor que varía por el cepillado de las piezas de madera.
- **Aserrín:** Es un conjunto de partículas pequeñas obtenidas en el proceso de aserrado (aserrín primario) y reproceso de la madera en los aserraderos (aserrín de elaboración o secundario).

2.7.2 Cantidad de residuos generados en aserraderos.

Con el propósito de tener una aproximación al tipo de residuo que se escogerá para el nuevo material compuesto, se comparó la cantidad de residuos que se generaron en una década en aserraderos en Chile (ver figura 7).

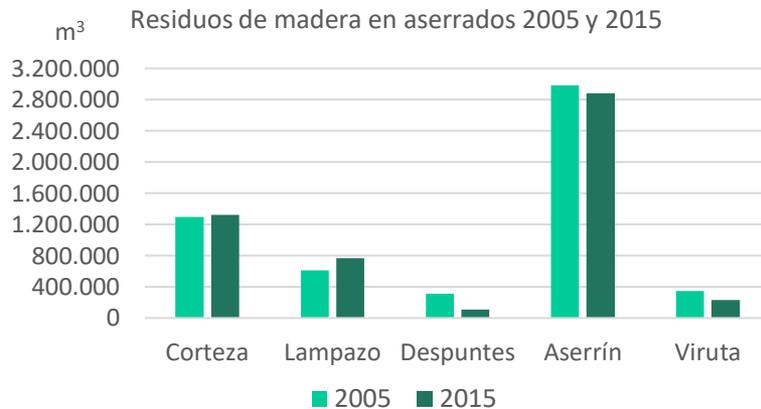


Figura 7: Residuos de madera en aserraderos en Chile 2005 y 2015. Elaboración propia a partir de (INFOR, 2016).

De acuerdo con el Instituto Forestal (2016) se generó un volumen total de residuos madereros de 5.307.773 m³ en el año 2015. De esta cantidad, si consideramos al aserrín y la viruta como posibles materias primas de interés para esta investigación por el tamaño de las partículas (Díaz-Vaz et al., 2009; Poblete y Burgos, 2010), se identifica al primer residuo como aquel que mayormente se produce con un 54,3% (2.880.757 m³). En contraste, la viruta alcanza el 4,3% de la producción en el mismo año (231.081 m³).

El destino de los residuos es la comercialización (66,6%), autoconsumo (29,9%), se regalan a vecinos (1,4%) o se acumulan (2,2%). Cabe señalar que existe una mayor valorización de estos recursos, siendo usados principalmente para la fabricación de pellets y la industria de tableros (INFOR, 2016). A pesar de esto, otros estudios indican que solo el 50% de un árbol cortado se usa como madera o se recupera (Magin, 2002; Leckoundzou et al., 2010).

Las cifras anteriores demuestran que en los aserraderos producen grandes cantidades de aserrín en comparación a otros residuos y que tienen una nueva vida útil en su mayoría. Sin embargo, esto no ocurrirá en la siguiente etapa del ciclo de vida de la madera.

2.7.3 Residuos generados en talleres: Tornerías de madera.

Según entrevistas realizadas a torneros de Santiago centro, posterior a la primera troza del árbol, la madera es transportada a distintas regiones y posteriormente vendida en barracas, siendo estas últimas quienes proveen de recursos a ebanisterías y carpinterías.

Esta investigación contempló el levantamiento de información en terreno ante la falta de datos que pudieran responder a interrogantes como: qué maderas nativas y exóticas son las que más frecuentan en los trabajos que desempeñan; la tipología de residuos industriales que se generan en mayor cantidad por dichas maderas; y, por último, saber qué utilidad se le da a estos residuos o si son considerados basura.

Entre las ebanisterías y carpinterías en Santiago, las tornerías son aquellos talleres que dejan mayormente 1 tipo de residuo en grandes cantidades y de forma invariable: **la viruta de madera**. Esto se debe al constante uso del torno como su herramienta principal. **Se presenta así una oportunidad de recoger este residuo de forma regular de distintos talleres de tonería y otorgarle una nueva vida útil evitando su desecho en vertederos.**

El torno es una herramienta donde una pieza de madera blanda gira en torno a su eje de simetría a 750 revoluciones como mínimo, en la cual la sale el residuo tipo viruta, producto del contacto de la gubia con la pieza en rotación.

Se identificó la presencia de 7 tornerías de madera establecidas en Santiago (ver figura 8). 6 de éstas se encuentran en Avenida Manuel Antonio Matta y sus alrededores, sector que ofrece diversos talleres de carpintería y ebanistería, donde se fabrican muebles, sillones, sofá, piezas de tornerías, entre otros. Cabe señalar que este registro no menciona a tornerías que están aisladas geográficamente o aquellas que no indican una dirección o lugar físico.

A partir de las preguntas realizadas a 5 tornerías y las visitas realizadas durante noviembre de 2019 (ver anexo), se concluye lo siguiente:

- a. La totalidad de las tornerías menciona que entre las maderas más utilizadas está el **pino radiata, Raulí y Lengua**. En forma no tan frecuente también se usa bastante la madera de Tapa y Coihue.

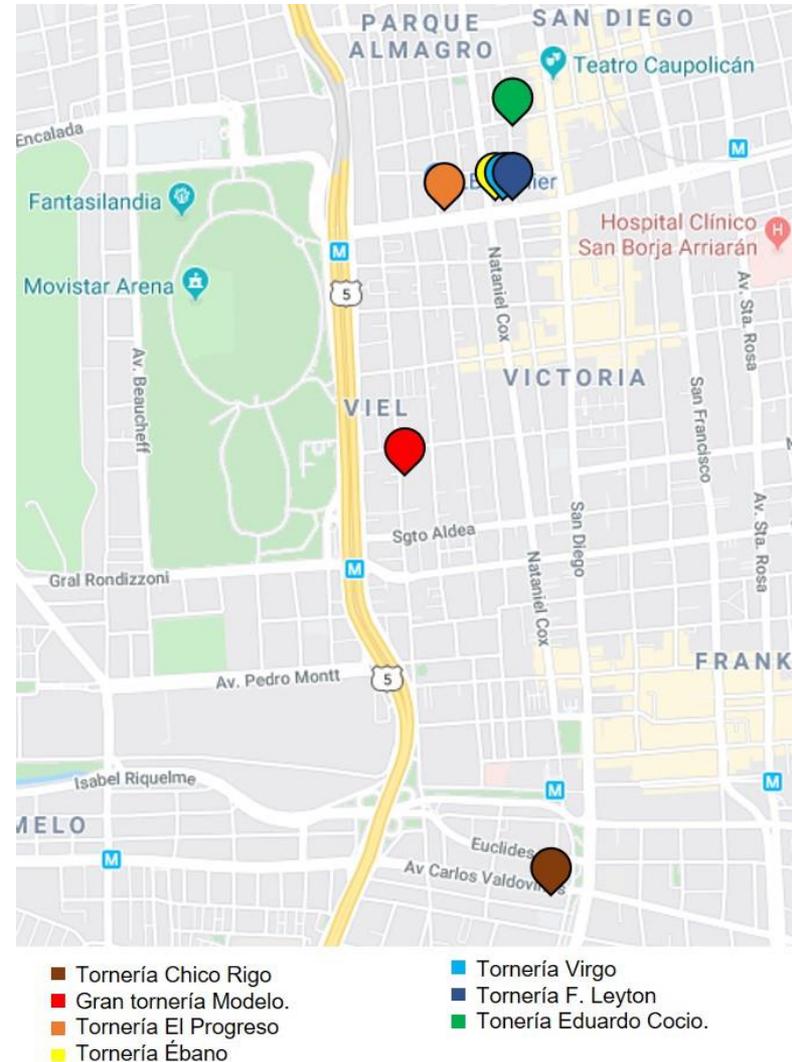


Figura 8: Tornerías de madera concentradas en el barrio Matta, Santiago de Chile. Elaboración propia.

- b. Las maderas son obtenidas de barracas del barrio Franklin, barracas “Añihue”, “Tarapacá” y “Foresta” ubicadas en Santiago.
- c. La totalidad afirma que el residuo que más se genera es la **viruta**, producto del uso constante del torno. También son usadas otras herramientas, que producen otro tipo de residuos.
- d. Entre las herramientas manuales más frecuentes, se utilizan las relacionadas al trabajo con el torno: formón y gubia, por ejemplo. Las herramientas eléctricas usadas son el torno, lijadora eléctrica, sierra de banca, ingletadora, sierra pedestal y cepillo eléctrico (que entrega otro tipo de viruta diferente al torno).
- e. Se asegura que en menor frecuencia los sacos de viruta son retirados por particulares para usarlos en pesebreras. La mayor parte va directamente al vertedero.
- f. 1 de las tornerías asegura producir entre 10 y 20 sacos de viruta semanales, de 165 lts cada uno; 3 de ellas promedian los 3,5 sacos semanales; 1 de ellas afirma sacar sólo 1 saco semanal.
- g. 1 de las tornerías afirma que la mano de obra y tiempo invertido para separar la viruta de otros desechos no es viable por lo costoso. Sin embargo, el proceso de recolectar todos los residuos y dejarlos en sacos ya lo hacen, facilitando en gran parte el proceso de obtención del material residual.



Figura 9: Acumulación de viruta de tepe producto del trabajo en torno en “Gran tornería Modelo”. Elaboración propia.



Figura 10: Viruta de lenga generada del cepillo eléctrico, junto con otros desechos en “Tornería Ébano”. Elaboración propia.



Figura 11: Espacio de trabajo del tornero en “Tornería Ébano”. Aserrín, viruta y trozos de madera en el suelo. Elaboración propia.



Figura 12: Balaustres de pino radiata en “Tornería El Progreso”. Elaboración propia.



Figura 13: Sacos de viruta de pino radiata dispuesto para su retiro “Tornería Virgo”. Elaboración propia.

2.7.4 Cantidad y tipos de residuos presentes en tornerías.

A continuación se registra el tipo de residuo que se encuentra en tornerías, comparando la cantidad de viruta en 2 tornerías de Santiago con otros desechos y calculando su masa con el fin de establecer cifras que permitan distinguir la relevancia de utilizar este residuo en un material compuesto. Para esto, durante 3 semanas consecutivas se retiraron los desechos semanales de 2 tornerías: Tornería “Gran Tornería Modelo” y Tornería “El Progreso”, donde cada tornería reúne en sacos de 165 lts sus propios residuos que generan. Como resultado de esta cuantificación, se obtuvo un total de 10 sacos en las 3 semanas de recaudación de material (figura 14).



Figura 14: 10 Sacos con residuos de 3 semanas pertenecientes a 2 tornerías.
Elaboración propia.

En el contenido de los 10 sacos se encontraron 4 tipos de desechos, diferenciados principalmente por sus dimensiones: Viruta, Aserrín, Astillas y Trozos de madera o piezas torneadas. La viruta de madera conforma casi la totalidad de la masa de los sacos, dejando al aserrín en segundo lugar. En cambio, astillas, trozos de madera y piezas torneadas ocupan un ínfimo porcentaje, esto es corroborado también por las entrevistas a los torneros (ver anexo).



Figura 15: Trozos de madera contenidos en uno de los sacos de Tornería “El Progreso”. Elaboración propia.



Figura 16: Piezas torneadas contenidas en uno de los sacos de Tornería “El Progreso”. Elaboración propia.



Figura 17: Porción de trozos de astillas contenidas en uno de los sacos de “Gran Tornería Modelo”. Elaboración propia.

La tabla 4 registra el contenido de 10 sacos de residuos obtenidos entre diciembre de 2019 y enero de 2020 de 2 tornerías: “Gran Tornería Modelo” (G.T.M.) y “Tornería Progreso” (T.P.). Se compara semanalmente la masa de viruta y aserrín, además de las especies de madera presentes en cada saco. En el registro se excluyen los trozos de madera de mayor dimensión y astillas por su escasa presencia. La figura 18 muestra el contenido de uno de éstos sacos, extraído de la “Tornería Progreso” en la semana 3.

De la tabla es posible determinar que:

- La viruta es el residuo de madera que más se genera en tornerías, por sobre el aserrín y los trozos de madera de mayor dimensión.

- Las especies que más utilizadas son las maderas de ***Pinus radiata* (pino radiata)**, seguido de ***Nothofagus alpina* (raulí)**, a pesar que en las entrevistas se aseguró que, entre las maderas nativas, la madera de lenga (*Nothofagus pumilio*) es la más trabajada en las tornerías.
- Es imposible separar ambas virutas, pero sí es posible tamizarlas de otros residuos.
- Tan solo en el sector de barrio Matta de Santiago, donde hay 8 tornerías de madera, se podría generar más de 1,7 toneladas de viruta de madera en 1 año.

Conforme a estos datos, los residuos utilizados para el material compuesto será la viruta de madera de pino radiata y raulí.

Tabla 3: Registro de desechos de 2 tornerías en 1 mes.

| | Tornería | Cantidad de sacos | Masa Viruta (kg) | Masa aserrín (kg) | Total Masa (kg) | Maderas presentes |
|-----------------------|----------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Semana 1 | G.T.M. | 3 | 9,9 | 5,5 | 15,4 | Raulí > Pino |
| | T.P. | 1 | 4,8 | 2,8 | 7,6 | Raulí < Pino |
| Semana 2 | G.T.M. | 1 | 0,2 | 0 | 0,2 | Pino |
| | T.P. | 2 | 9,3 | 2,3 | 11,6 | Raulí < Pino |
| Semana 3 | G.T.M. | 1 | 5,7 | 2,4 | 8,1 | Raulí < Pino |
| | T.P. | 2 | 6,8 | 2,1 | 8,9 | Raulí < Pino |
| TOTAL EN 1 MES | | 10 | 36,7 | 15,1 | 51,8 | Raulí < Pino |

Fuente: Elaboración propia.

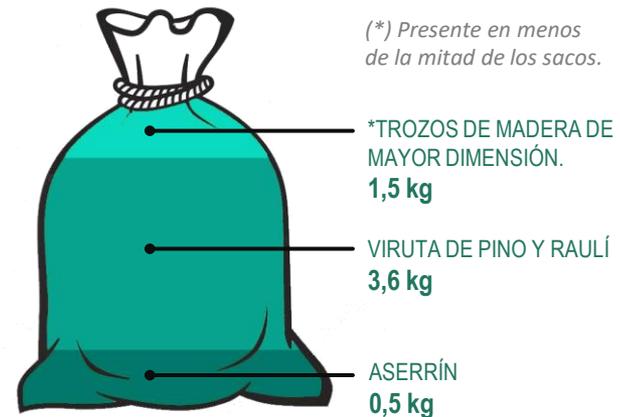


Figura 18: Tipología y cantidad de residuos de un saco. Elaboración propia.



Figura 19: Sacos de residuos pertenecientes a 4 meses de trabajo en tornería “Gran Tornería Modelo”. Elaboración propia.

Según afirma Sergio Ibaceta, tornero de “Gran Tornería Modelo”, durante el mes de recolección de los sacos fue un mes de baja demanda producto del contexto social que vivía el país y por difícil ubicación de su taller. Aun así es posible ver que acumula más de 18 sacos de 165 lts que produjo en 4 meses, desde octubre de 2019 a enero de 2020 (figura 19).

A su vez, Federico Opaval de la tornería “El Progreso”, asegura que semanalmente lo mínimo que se acumula en su tornería son 10 sacos de 165 lts.

Se reafirma entonces la oportunidad de obtener grandes cantidades de viruta de madera proveniente de las tornerías.

2.8 Caracterización de la viruta.

El tipo de gubia determinará las dimensiones y formas de la virutas. Por ello, toma relevancia reconocer los tipos de virutas que contendrá el material compuesto. Para esto, se seleccionaron 8 tipos de gubias usadas para generar diferentes perfiles en la madera al ser torneadas. Posteriormente, se midieron tres secciones de cada gubia (figura 20): el ancho de la gubia (A), el rango que abarca su filo (B) y el espesor de la gubia (C).

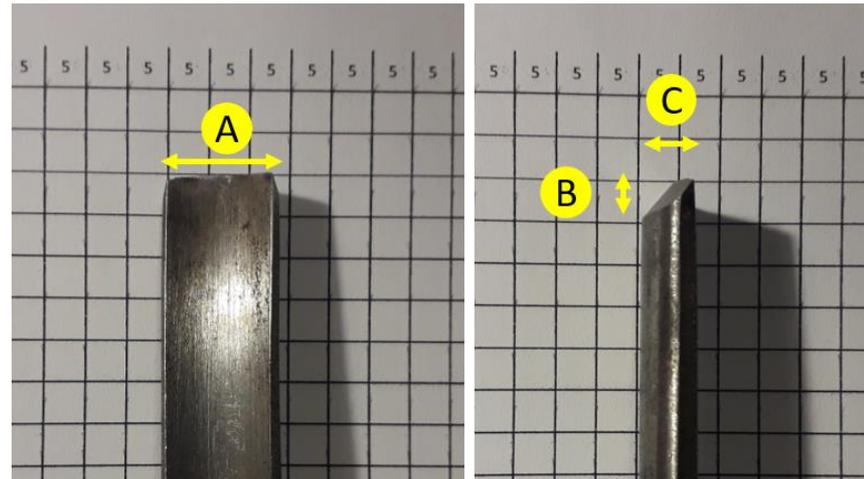


Figura 20: Medición de gubias. Elaboración propia.

Se plantean 4 grupos de gubias de acuerdo con su terminación y, por consecuencia, su uso: gubia paleta, punta centro, punta esquina y curva. Todas ellas fueron medidas en las secciones indicadas (tabla 5).

Tabla 4: Medición de tipos de gubias y tipo de viruta generada.

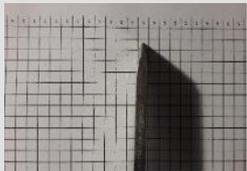
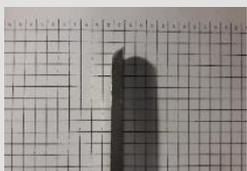
| Tipo de gubia | N° | Gubia vista frontal | Gubia vista lateral | Ancho (A) x Espesor (C) (mm) | Filo (B) (mm) | Viruta generada de pino radiata | Viruta generada de Raulí (Nothofagus alpina) |
|---------------|----|---|---|------------------------------|---------------|---|---|
| Punta esquina | 1 |  |  | 24,4x4 | 16 |  |  |
| | 2 |  |  | 25x4 | 5,5 |  |  |
| Punta paleta | 3 |  |  | 13,6x4,3 | 6,6 |  |  |
| | 4 |  |  | 14x4 | 5,7 |  |  |

TABLA 5: Medición de tipos de gubias y tipo de viruta generada. Elaboración propia.

Tabla 5: Medición de tipos de gubias y tipo de viruta generada.

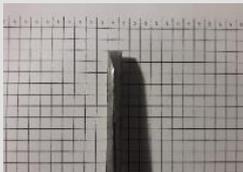
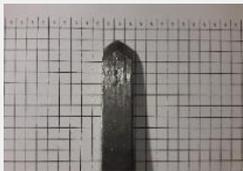
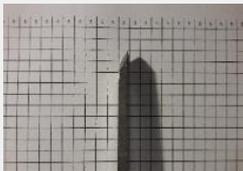
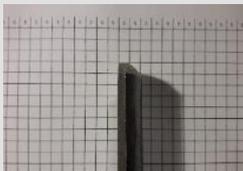
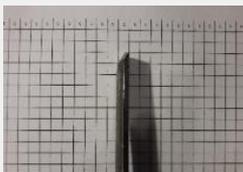
| Tipo de gubia | N° | Gubia vista frontal | Gubia vista lateral | Ancho (A) x Espesor (C) (mm) | Filo (B) (mm) | Viruta generada de pino radiata | Viruta generada de Raulí (Nothofagus alpina) |
|---------------|----|--|--|------------------------------|---------------|--|--|
| Punta Centro | 5 |  |  | 12,7x6,3 | 9,1 |  |  |
| | 6 |  |  | 13,5x3,6 | 11,5 |  |  |
| Curva | 7 |  |  | 24,5x9 | 5 |  |  |
| | 8 |  |  | 10x5,8 | 4,1 |  |  |

TABLA 5: Medición de tipos de gubias y tipo de viruta generada. Elaboración propia.

A partir de la tabla anterior se reconoce las formas y medidas del ancho, espesor y el filo como variables que determinan las dimensiones y formas de las virutas. Con el registro anterior fue posible definir que las gubias “punta esquina” y “punta centro” logran virutas más delgadas y alargadas; las gubias “punta paleta” logran virutas de un tamaño intermedio, más finas y gruesas que las anteriores; y las gubias “curvas” logran rizar o curvar las virutas.

Las gubias más grandes y anchas son empleadas para sustraer grandes porciones de madera, es decir, al inicio del proceso de tornear (figura 21). Por su parte las gubias que son más delgadas y pequeñas son para definir formas más detalladas, las que finalmente darán el diseño de las piezas.



Figura 21: Gubias grandes usadas en “Tornería Ébano”.
Elaboración propia.

2.8.1 Propiedades químicas del pino y el raulí.

Para tener ciertas consideraciones al momento de someter a diferentes ensayos las muestras del nuevo material, se debe tomar en cuenta algunas propiedades químicas de la madera, como lo son el contenido de celulosa, lignina y hemicelulosa, así como la densidad de las maderas. En la siguiente tabla se muestra dichas cantidades en las 2 maderas que se identificaron como aquellas que más se producen en tornerías,

Tabla 5: Densidad, cantidad de celulosa, lignina y hemicelulosa presente en pino radiata y raulí.

| | Pinus radiata | Nothofagus alpha (raulí) |
|--|---------------|--------------------------|
| Densidad madera seca (kg/m ³) | 480 | 600 |
| Densidad madera verde (kg/m ³) | - | 940 |
| Celulosa (%) | 54 | - |
| Lignina (%) | 27 | 27 |
| Hemicelulosa (%) | 16 | 65 |

Fuente: (Crespo, R. et. al, 2013).

Someter la madera a temperaturas superiores a 170 °C produce cambios químicos en los componentes de la pared celular: lignina, celulosa y hemicelulosa (Niemz *et al.* 2004, Metsä-Kortelainen y Viitanen 2012). Este aumento de temperatura puede mejorar la estabilidad dimensional de la matriz celular y de las partículas y fibras de madera que forman un tablero (Boonstra *et al.* 2006).

3. RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN MATERIALES COMPUESTOS

3.1 Materiales compuestos.

Los materiales compuestos son aquellos que combinan dos o más materiales. Esta unión busca obtener propiedades que sus materiales por separado no tienen. Ejemplo de estas propiedades son la rigidez, peso, rendimiento a diferentes temperaturas, a la corrosión, entre otras (Askeland, 1998).

Los materiales compuestos se caracterizan por sus 2 componentes: la matriz y el refuerzo. La matriz se define como la fase continua en la que el refuerzo queda inmerso, determina las propiedades físicas y químicas del compuesto, le otorga cohesión y el acabado superficial. El material de refuerzo, en cambio, puede ser de partículas o fibras y es agregado a la matriz. La mezcla será más efectiva si las partículas tienen un menor tamaño y si están dispersas de manera homogénea (Stupenengo, 2011).

Existen 3 tipos de materiales compuestos: a partir de partículas (concreto, por ejemplo), fibras (fibra de vidrio, por ejemplo) o laminares (contrachapado, por ejemplo) (Askeland, 1998).

Los compuestos de fibra vegetal, por lo general, tienen un 60% de madera, contenidos en una matriz termo plástica, termoestable o elastomérica. El concepto de “tablero de partículas” se refiere a aquel material compuesto lignocelulósico que se une con 20% o

menos de adhesivo (Wechsler, 2013).

Baillie (2004), define como “materiales celulósicos” a todo material de fibra natural. Estos materiales corresponden a la biomasa más abundante y que tiene más probabilidad de uso como refuerzo de compuestos de madera debido a su alto desempeño, a razones ecológicas y económicas, entre otras.

3.1.1 Tipos de adherencia.

Se establecen tres teorías de adherencia entre el sustrato y el adhesivo: mecánica, química y por difusión.

- a. La teoría mecánica afirma que el adhesivo fluye por sustrato aprovechando su porosidad y una vez endurecido, se ancla a éste (Frihart, 2005).
- b. La teoría química explica la adherencia entre polímeros por su compatibilidad (Butt et al., 2010; Frihart, 2005).
- c. La teoría de la difusión de polímeros dice que la adhesión se logra con la difusión de segmentos de cadenas de polímeros cuando moléculas de ambos sustratos son móviles y solubles entre sí. La condición es que ambos sustratos deben ser polímeros (Frihart, 2005; Butt et al., 2010).

Un factor determinante en la adherencia de resina y madera, es el pH de la resina. Éste debe estar entre 1.5 y 11, de lo contrario podría degradar la madera (Frihart, 2005; Butt et al., 2010).

El siguiente estado del arte contempla exploraciones, investigaciones y productos, sus aglomerantes, su base lignocelulósica y posibles aplicaciones a modo de referencia para esta investigación. De aquí surgen los alcances, las limitantes y oportunidades de diseño en base al residuo de viruta de madera.

3.2 Tableros de partículas en base a fibras de madera.

A continuación se exponen las características, ventajas, desventajas y aplicaciones de materiales que se componen de fibras de madera (aserrín y viruta) y un porcentaje de aglomerante, donde destacan los tableros de partículas del mercado.

MDF (Medium density fibreboard).

Este material es un tablero hecho por aproximadamente 85% fibra de madera (polvillo o aserrín) junto con resinas sintéticas comprimidas, obteniendo una densidad $\geq 450 \text{ kg/m}^3$. Algunas de sus características es que, a diferencia de la madera convencional, presenta un color uniforme y no tiene vetas. Esto último facilita el mecanizado, pues no condiciona la dirección del corte que se quiera realizar (Plasencio, 2007).

Otras ventajas son su bajo valor comercial comparado con la madera maciza, su buena adherencia a pegamentos y la posibilidad de añadirle una chapa en sus caras dando la apariencia de madera maciza, método utilizado en la fabricación de muebles (Maderas Santana, 2015).

Entre las desventajas está la poca resistencia al agua e intemperie del material, inclusive si se agregan químicos para evitar esto (Plasencio, 2007). Otra de las desventajas es la peligrosidad de inhalar el polvo que se desprende al trabajar el MDF. El peligro radica en los químicos usados en la fabricación de los tableros (Maderas Santana, 2015).



Figura 22: Tableros de MDF (Fuente: Maderas Santana)

OSB (oriented strand board).

Son tableros de fibras orientadas compuestos por capas de virutas o astillas de dimensiones desiguales. Cada capa pasa por un proceso de prensado y son colocadas en la misma dirección. Posteriormente, cada capa se une perpendicularmente a la otra para dar estabilidad y resistencia al material (Carrasco, 2012).

Entre las virutas usadas se frecuenta usar pino, abeto y chopo. Entre los aglomerantes, los más usados son Fenol-Formaldehído (PF), Urea-Formaldehído (UF), Urea-Formol, Di-isocianato (PMDI) o mezclas de las anteriores. Su densidad es variable debido a que depende de la composición del tablero, aunque la media es de 650 kg/m³ (Louisiana Pacific, s.f.; Maderame, s.f.)

Existen 4 tipos de tableros OSB, destinado a diferentes usos y ambientes (para interiores o exteriores, para ambientes húmedos o secos y para mobiliarios o aplicaciones de carga). Su uso frecuente es como revestimiento en construcciones, aunque también se ha contemplado en el diseño de mobiliarios (ver figura 23) (Maderame, s.f.; Arinni, 2016).

Sus ventajas son su bajo valor comercial y su alta resistencia a la ruptura y la torsión, además se estima que el reciclaje del residuo en este tablero es mejor destino que el combustible. Por otro lado, entre sus desventajas, está la posible deformación si se deja expuesto a la intemperie debido a la humedad, a menos que reciba un tratamiento adecuado para evitarlo (Maderame, s.f.). Además, al igual que el MDF, utiliza químicos riesgosos para la salud en su proceso de fabricación (Maderas Santana, 2015).



Figura 23: Diseño de mobiliario con tablero OSB (Arinni Estudio, s.f.).

3.3 Productos diseñados con materiales compuestos en base a fibras de madera recicladas.

A continuación se presentan diseños que en su composición incorporan el reciclaje del residuo de madera en diferentes formatos y dimensiones, las que son mezcladas con resina como aglomerante.

Zero Per Stool

El proyecto diseñado por Jang Won, Kyungsun Hwang, Min-a Kim & Hajin Yoon, busca recuperar retazos de madera abandonada, como tableros aglomerados o madera maciza, proponiendo un nuevo diseño para crear taburetes. La idea surge luego de percatar que para fabricar objetos con una eficiencia excesiva, se obtiene de manera inevitable gran desperdicio de material que queda sin uso. Es así como Zero Per Stool busca recuperar estos residuos de gran dimensión para ocuparlo en un nuevo diseño, con un método de producción que no provoca mayores recortes, usando como técnica la madera híbrida (Decoesfera, 2017).

La madera híbrida, consiste en vincular dos componentes: piezas de madera agrietada y resina curada, dispuestas en un molde. Se ocupa resina translúcida para mostrar los cantos de las maderas y el aglomerante como elemento vinculante de cada trozo de madera. (Decoesfera, 2017) (Ver figura 24).

Una de las características es que estéticamente cada producto será distinto a otro ya que, aparte de las proporciones fijadas, no hay un control numérico de la forma de la madera y la cantidad de resina utilizada.



Figura 24: Molde que contiene los trozos de madera en desuso para ser aplicada la resina. (Fuente: Yanko Design)



Figura 25: Taburetes Zero Per Stool (Fuente: Yanko Design).



Figura 26: Torneado de patas para sillas y reutilización de sus residuos (Van Aubel, 2012)



Figura 27: Well Proven Chair (Van Aubel, 2012)

Well Proven Chair

Los diseñadores Marjan Van Aubel y James Shaw, deciden proponer el diseño de una silla a partir de los residuos de aserrín y viruta generados por la fabricación de otros muebles, que alcanzan entre un 50% y el 80% del material total (EcoNotas, 2012; Van Aubel, 2012).

Virutas de diferentes tamaños recolectadas de los residuos industriales de un taller fueron mezcladas con una bio resina, la que en forma de espuma logra expandirse al doble de su tamaño. Inclusive, las fibras que genera el torneado de las patas de las sillas es aprovechado en la mezcla. Posteriormente se agrega a la mezcla un tinte que ofrece una variedad de colores (EcoNotas, 2012; Van Aubel, 2012).

Este proyecto muestra la capacidad de explorar otros aglomerantes a los que convencionalmente se vinculan a las fibras de madera.

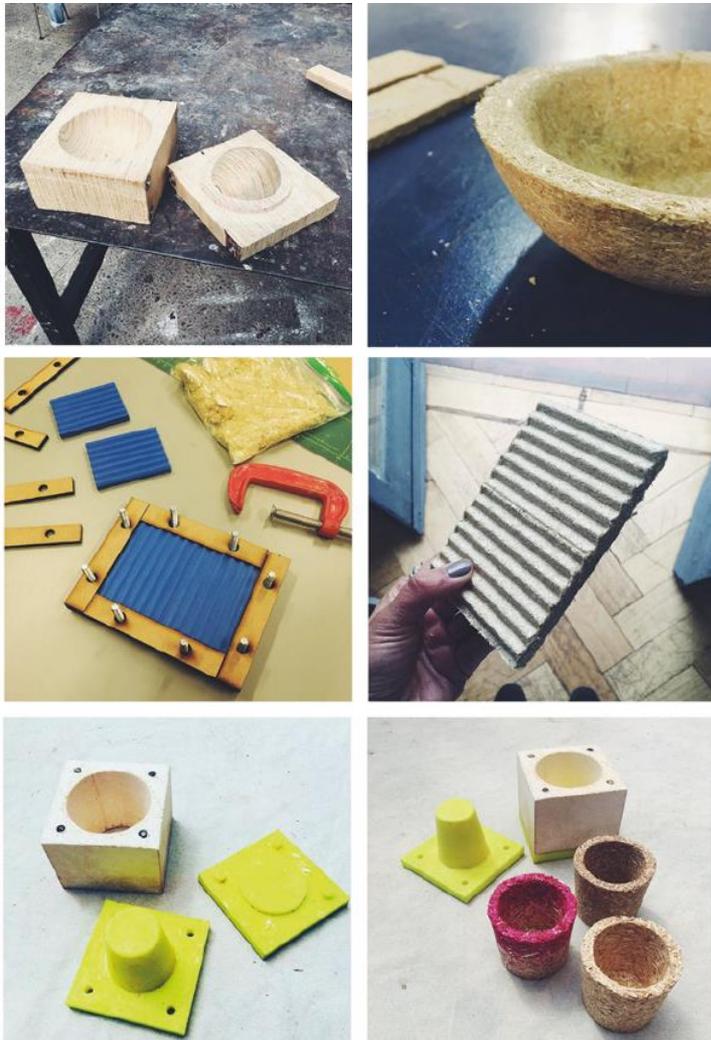


Figura 28: Generación de moldes, prensado y resultados de EntreNiebla (Martel y Pacheco, 2018)

EntreNiebla:

EntreNiebla es un proyecto de investigación y experimentación de material compuesto en base a la fibra de huir de mimbre en desuso generado por artesanos de Chimbarongo, empleando en su fabricación tecnología de poca complejidad. La composición del material tiene un 80% de PU Khel, con una densidad de 600 kg/m^3 . Finalmente, entre sus posibles aplicaciones, se crea un packaging secundario para una Cooperativa (Martel y Pacheco, 2018).

En la etapa experimental se desarrollaron diferentes propuestas geométricas a través de matrices (ver figura 28), además se comparó el resultado de 3 diferentes tipos de aglomerantes: adhesivos Khel, PVA y adhesivos Graflex. La experimentación con los adhesivos Khel arrojó mejores resultados en cuanto a la impregnación de las partículas y eficiencia del moldeo (Martel y Pacheco, 2018).

Espuma celulósica para aislamiento térmico

Un instituto para la Investigación de la Madera en Alemania, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), desarrolló un método que genera un material de espuma con partículas de madera a base de aceite y lana mineral. La propuesta surge como una alternativa amigable con el medioambiente en comparación a químicos que se usan para aislamiento por pulverización y otros aislamientos con fibra de madera existentes. Entre sus características se encuentra su buena aislación térmica y propiedades mecánicas, además de su resistencia a la humedad y reciclabilidad. Aun está en investigación cuál es la especie de árbol que resulta mejor como base para el producto (Fraunhofer, 2015).

Para su producción, se tritura la madera hasta obtener pequeñas partículas que formen una masa viscosa. Posteriormente se incorpora gas para expandir la celulosa en una espuma que se endurece. La madera y sus composición química favorece en el proceso de endurecimiento de la espuma (Fraunhofer, 2015).

Otro método alternativo que realiza WKI es utilizar químicos no perjudiciales, someter la mezcla a un horno y crear tableros de partículas con espuma rígida (Fraunhofer, 2015).

Cabe señalar que WKI está presente en Chile desde el año 2016 siendo parte de organizaciones públicas y privadas que buscan potenciar el desarrollo de la industria de la madera (Fraunhofer, 2015).



Figura 29: Espuma celulósica para aislamiento térmico (Arinni Estudio, s.f.).

3.4 Conclusiones de la revisión de referentes.

A partir de los referentes anteriores se muestra que, entre los materiales desarrollados, las aplicaciones recurrentes son aislantes, revestimientos, mobiliarios o contenedores, ofreciendo la posibilidad de explorar otros usos no convencionales.

Los tableros de partículas están posicionados en el mercado por sus características, sin embargo, usan adhesivos como el formaldehído, que puede ser perjudicial para la salud ante su exposición (Madera21, 2020). Debido a esto, se instala la necesidad de generar nuevas alternativas que contemplen criterios de sustentabilidad y compitan con los tableros existentes.

Los resultados obtenidos y la metodología de EntreNiebla (2018) permitió una aproximación a la exploración de aglomerantes y de los métodos necesarios para desarrollar el nuevo material.

Se destaca el uso de más del 50% de madera respecto a su aglomerante, llegando incluso al 85% de fibra. Esta referencia será elemental en la definición de la proporción de la mezcla.

La espuma biodegradable como aglomerante tiene buenos resultados en su mecanizado, en el desarrollo sustentable de su proceso de conformado y el fin de su vida útil, aunque su desventaja es el alto costo de producción. Por otra parte, deja un área poco indagada respecto a otros formatos y aplicaciones más allá de los tableros y mobiliario diseñado.

4. AGLOMERANTES ADECUADOS PARA EL MATERIAL COMPUESTO EN BASE A VIRUTA DE MADERA

4.1 Requerimientos de un material compuesto basado en viruta de madera

Para definir las características del nuevo material con viruta de pino y raulí como refuerzo, se definen sus requerimientos de acuerdo con cada etapa de vida (tabla 7). Estos criterios se basaron en el marco de Ecología industrial (Campos & Gómez, 2004). Posteriormente, se evaluará cada aglomerante de origen sintético y natural para así seleccionar uno que se adapte mejor a las siguientes condicionantes:

Tabla 6: Requerimientos del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí.

| Etapa de vida | Requerimiento | Descripción |
|---------------|-----------------------|--|
| Materia Prima | Localidad | Dependiendo de la disponibilidad, los materiales deben ser locales (en Chile o Sudamérica), facilitando su accesibilidad. |
| | Menor costo | Priorizar el bajo costo de los materiales, para no aumentar el costo al incluir la posterior producción, |
| | Recursos renovables | Utilizar resinas no basadas en petróleo. |
| Producción | No tóxico | Que el adhesivo seleccionado no genere emisiones durante todo su ciclo de vida. |
| | No tóxico | Inofensivo a la salud en la fabricación. |
| | Menor costo | Dar preferencia al menor costo en su producción industrial. |
| Uso | Eficiencia energética | Reducir la energía para el curado del compuesto, con una temperatura a menos de 190°C |
| | No tóxico | Inofensivo a la salud en su manipulación o uso. |
| Uso | Vida útil | Debe extender la vida útil de la viruta, dando un nuevo ciclo de vida a la madera nativa. Otorgar mayor resistencia a la humedad en comparación a tableros de partículas con UF. |
| | Fin de vida | Bio degradable o reciclable |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Ashby y Johnson, 2002; Vezzoli, 2014; Aranda y Zabalza, 2010; Rojas Zerpa, 2016).

4.2 Tipos de aglomerantes según su origen.

En la siguiente imagen (figura 30) se sintetiza y categoriza los tipos de aglomerantes de origen sintético que en 2 grupos: termoplásticos y termoestables.

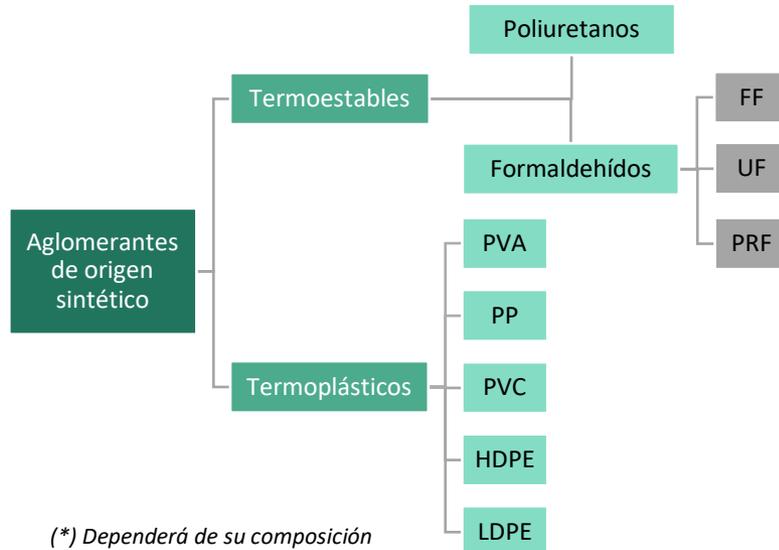


Figura 30: Aglomerantes de origen sintético. Elaboración propia a partir de (Wechsler, 2013).

Las principales resinas empleadas en la industria de la madera son las termoestables y los adhesivos termoplásticos ya que tienen mejor resistencia a la humedad y a los efectos de microorganismos. Los adhesivos termoestables que frecuentemente se usan son los poliuretanos y formaldehídos.

Una vez reconocidos los aglomerantes de origen sintético, se identifica a los aglomerantes de origen natural, los que se pueden clasificar en tres categorías: aglomerantes basados en proteínas, en carbohidratos o en poliuretanos a base de aceite vegetal (figura 31).

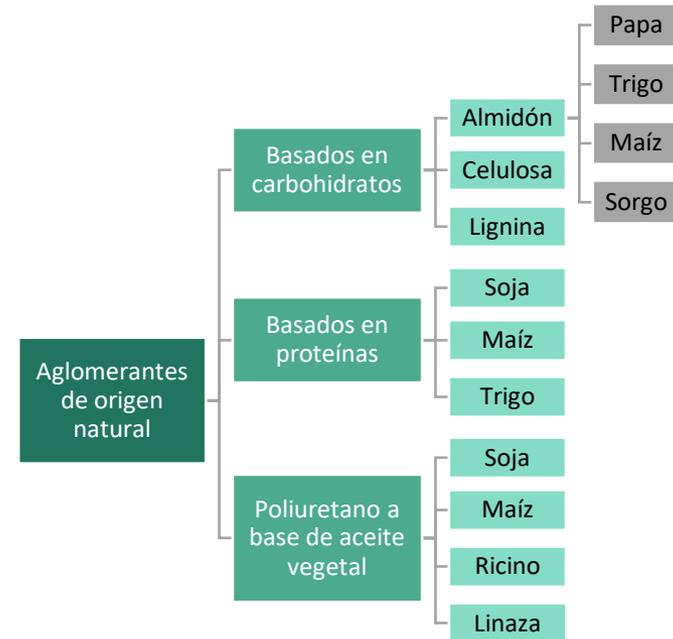


Figura 31: Aglomerantes de origen natural. Elaboración propia a partir de (Wechsler, 2013).

4.3 Comparación de 6 aglomerantes según requerimientos de diseño.

A continuación se comparan las características, ventajas, desventajas y costos de 6 aglomerantes, seleccionados conforme a los requerimientos establecidos. Esta comparación permitirá establecer los aglomerantes que serán utilizados en la etapa de experimentación. Los aglomerantes son poliuretano a base de aceite de ricino, acetato de polivinilo (PVA), polilactida (PLA), adhesivo a base de soja, adhesivo a base de maíz y bioespuma.

Tabla 7: Comparación de aglomerantes seleccionados según requerimientos.

| Aglomerante | Características | Desventajas | Costo |
|--|---|---|--|
| PVA | <ul style="list-style-type: none"> El acetato de polivinilo es biodegradable ². Compuesto orgánico líquido que después de fraguar es incoloro ¹⁻³. Adhesivo termoplástico incoloro e inodoro ³. Se degrada por hongos o hidrólisis ⁴ | - | Alto costo comparado con el almidón, pero bajo comparado con polímeros sintéticos ⁵ . |
| Poliuretano a base de aceite de ricino | <ul style="list-style-type: none"> Producido principalmente de India, China y Brasil ⁵. Compuesto de un isocianato (MDI) y un polioli (aceite de ricino) ¹. Resistente a la humedad, al agua, a rayos UV ¹⁴. Flexible a baja temperatura ⁷ Manipulación y curado a temperatura ambiente ¹⁴. Amigable con el medio ambiente. No es volátil, tampoco presenta riesgo en la manipulación ¹⁴. Descomposición térmica sobre los 150°C ⁶. Tiene aplicaciones en exteriores ⁷. | <ul style="list-style-type: none"> Uso limitado y, por ende, tiene un alto costo de adquisición. No es biodegradable. | USD \$ 7 / kg FOB |
| Polilactida (PLA) | <ul style="list-style-type: none"> Termoplástico biodegradable ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵. Almidón presente entre un 50%- 90% ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵ Punto de fusión alto (~160°C) ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵. Se degrada fácilmente en agua caliente ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵ Aplicaciones en envases, espuma aislante, artículos desechables ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵ Alto rendimiento mecánico ¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹⁵ | <ul style="list-style-type: none"> Alto costo de adquisición⁹ | USD \$ 3,5 / kg FOB |
| Adhesivos a base de maíz | Funciona como extensor de pegamento, reduciendo la cantidad de aglutinante principal ¹⁶ . | Desarrollo aun temprano ¹⁸ . | - |

Fuente: elaboración propia a partir de (1) Frihart, 2005; (2) Calvo-Flores & Isaac, 2013; (3) Viveros Muñoz, 2007; (4) ThePlasticsIndustryTradeAssociation, 2016; (5) FAO, 2012; (6) Claro Neto, 1997; (7) Kehl, 2011; (8) Latere Dwan'Isa et al., 2005; (9) Hensler, 2006; (10) Drumright et al., 2000; (11) Wool and Sun, 2005; (12) Allen, 2009; (13) Mohanty et al., 2002; (14) Dias y Rocco Lahr, 2004; Silva et al., 2006); (15) Baillie, 2004; (16) Columbia Forest Products, 2008; (17) Selling et al., 2004; EnvironBiocomposites, 2009; (18) Wechsler, 2013; (19) Kehl, s.f.

Tabla 8: Comparación de aglomerantes bio basados.

| Aglomerante | Características | Desventajas | Costo |
|---|--|---|--|
| Adhesivos a base de soja | <ul style="list-style-type: none"> • Producido principalmente por Estados Unidos, Argentina y Brasil ⁵. • Resistente a la humedad ¹⁶. • Se pueden producir como polvo, espuma, látex o resina ¹¹. • Ha tenido aplicaciones en interiores ¹⁶. • No emite COV a la atmósfera ¹⁷. | <ul style="list-style-type: none"> • Precios más altos. • Comparadas con las resinas UF no ofrece mejoras físicas significativas. | - |
| Poliuretano bi - componente para bioespuma rígida | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de dos componentes de poliuretano que generan una espuma rígida ¹⁹. • Producido en Brasil ¹⁹. • Se usan aceites de origen natural como soja, ricino, girasol, maíz, etc ¹⁹. • Utiliza CO₂ como agente de expansión ¹⁹. • Apariencia líquida amarillento traslúcida ¹⁹. • Biodegradable en 5 a 10 años en exterior, en interior no se degrada ¹⁹. • Aplicación en aislamiento, aislamiento térmico, aplicaciones estructurales ¹⁹. • Reacción de la mezcla rápida y curado a temperatura ambiente ¹⁹. | <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de adquisición. | <ul style="list-style-type: none"> • Componente B: USD \$ 4.12 / kg FOB • Componente A: USD \$ 6.00 / kg FOB |

Fuente: elaboración propia a partir de (1) Frihart, 2005; (2) Calvo-Flores & Isaac, 2013; (3) Viveros Muñoz, 2007; (4) ThePlasticsIndustryTradeAssociation, 2016; (5) FAO, 2012; (6) Claro Neto, 1997; (7) Kehl, 2011; (8) Latere Dwan'lsa et al., 2005; (9) Hensler, 2006; (10) Drumright et al., 2000; (11) Wool and Sun, 2005; (12) Allen, 2009; (13) Mohanty et al., 2002; (14) Dias y Rocco Lahr, 2004; Silva et al., 2006; (15) Baillie, 2004; (16) Columbia Forest Products, 2008; (17) Selling et al., 2004; EnvironBiocomposites, 2009; (18) Wechsler, 2013; (19) Kehl, s.f.

Reconocidas las características, desventajas, ventajas y precios de 5 aglomerantes, se evaluó cada uno respecto a los requerimientos establecidos para el material compuesto. Esta evaluación tiene la finalidad de escoger 3 aglomerantes para su experimentación en la siguiente etapa de la investigación. Cada requerimiento será calificado como **“bueno” (B)**, **“regular” (R)** o **“malo” (M)** según el aglomerante evaluado.

Tabla 8: Evaluación de aglomerantes por cada requerimiento

| Aglomerante | Evaluación por requerimiento | | | | | |
|--|------------------------------|-----------|-------|-----------|-----------------------|------------------------------------|
| | Recursos renovables | Localidad | Costo | No tóxico | Eficiencia energética | Biodegradabilidad o reciclabilidad |
| PVA | B | B | B | B | B | B |
| Poliuretano a base de aceite de ricino | R | R | M | B | B | R |
| Polilactida (PLA) | B | B | R | B | R | R |
| Adhesivos a base de soja | B | R | M | B | B | B |
| Bioespuma | B | R | M | B | B | B |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Ashby y Johnson, 2002; Vezzoli, 2014; Aranda y Zabalza, 2010; Rojas Zerpa, 2016).

A partir de la evaluación anterior, se escogieron 3 aglomerantes para ser usados en la siguiente etapa de experimentación. Los aglomerantes seleccionados son poliuretano a base de aceite de ricino, bio espuma y acetato de polivinilo (PVA).

Aunque el poliuretano a base de aceite de ricino y la bioespuma no fueron bien evaluados por su alto costo, (considerando que su origen no es local) esta evaluación dependerá del rendimiento del aglomerante para generar grandes cantidades del material compuesto. Este último punto fue demostrado en la etapa de resultados del material compuesto basado en viruta de madera.

CAPÍTULO 2

MÉTODOS



1. DESARROLLO DEL MATERIAL COMPUESTO BASADO EN VIRUTA DE MADERA DE PINO RADIATA Y RAULÍ

La primera etapa de los métodos de la investigación, está dividida en 2 actividades: la primera establece el tamaño de la viruta y explora los aglomerantes identificados en el capítulo anterior, para finalizar con la selección del aglomerante. La segunda actividad evaluó distintos porcentajes del aglomerante escogido, seleccionó 2 y sometió a estas proporciones a ensayos físicos, pruebas de trabajabilidad y exposición a agentes exteriores, que permitieron conocer el porcentaje con mejor resultado. La etapa finaliza con la selección final de la proporción del aglomerante y la realización de ensayos mecánicos, como antesala a la etapa 2. La siguiente tabla sintetiza la primera etapa.

Tabla 9: Etapa 1 de los métodos

| ETAPA 1 DE LOS MÉTODOS | | |
|--|--|--|
| ETAPA | ACTIVIDADES | TAREAS |
| 1. Desarrollar el material compuesto basado en el residuo de madera identificado, mediante la exploración y evaluación de aglomerantes y definición de la proporción de la mezcla. | 1.1 Establecer el tamaño de la viruta y seleccionar el aglomerante para la mezcla. | <ul style="list-style-type: none"> a. Definir el rango del tamaño de la viruta ideal para la mezcla. b. Determinar porcentajes de aglomerante y viruta para las muestras. c. Elaborar los moldes para las muestras. d. Experimentar muestras con 3 aglomerantes y distintas proporciones. e. Evaluar las muestras bajo criterios de fácil observación y seleccionar un único aglomerante. |
| | 1.2 Definir la proporción final de aglomerante y sustrato del material mediante pruebas de trabajabilidad, ensayos físico-mecánicos y exposición a agentes exteriores. | <ul style="list-style-type: none"> a. Elaborar muestras con 2 proporciones diferentes del aglomerante seleccionado. b. Evaluar las propiedades de ambas proporciones del material a través de ensayos físicos (densidad y absorción de agua e hinchamiento), pruebas de trabajabilidad (corte, lijado y perforado de las muestras) y exposición a agentes exteriores (rayos UV y tierra húmeda). c. Seleccionar la proporción mejor evaluada en base a resultados anteriores y desarrollar ensayos mecánicos de tracción y flexión a estas muestras, para establecer sus propiedades. |

Fuente: Elaboración propia.

1.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA VIRUTA Y DEL AGLOMERANTE.

1.1.1 Definición del tamaño de la viruta de pino y raulí para la mezcla.

En esta sección se muestra los métodos de preparación de la viruta para el material compuesto, obteniendo el tamaño de la viruta para el material compuesto.

Limpieza

Fue necesario separar la viruta de otros trozos de madera, astillas y residuos propios de la tornería. En el caso de los trozos de madera fueron separados manualmente por su mayor dimensión, mientras que otros residuos de menor tamaño fueron apartados en el proceso de tamizado.

Tamizado

Este proceso determinó el tipo de viruta de pino y raulí necesario para el nuevo material compuesto, para una buena cohesión y resistencia (Díaz-Vaz et al., 2009; Poblete y Burgos, 2010). El proceso de tamizado también sirvió para apartar otros residuos de menor tamaño contenidos en los sacos de viruta.

Frente a la amplia diferencia de tamaños y formas de los residuos que incluía este grupo, se utilizaron 2 tamices (figura 32):

- El primer tamiz usó una malla de 5 mesh (4 mm²) para separar las virutas por su tamaño.

- El segundo tamiz, usó malla de 25 mesh (0,7 mm²) para separar la viruta de menor tamaño y el aserrín.

La medición se basa en las recomendaciones para determinar el tamaño del sustrato en la mezcla (Díaz-Vaz et al., 2009; Poblete y Burgos, 2010).

Trituración

Con la finalidad de aprovechar la totalidad del residuo tipo de viruta generado por las tornerías, fueron trituradas las virutas de madera de mayor tamaño producto del primer tamizado (>4 mm²) para obtener las virutas deseadas (≤ 4 mm² y $> 0,7$ mm²) (Díaz-Vaz et al., 2009; Poblete y Burgos, 2010).

Para este método se usó un molino Scandia, modelo n°3 (Muñoz, 2019). La figura 33 muestra el proceso del triturado.



Figura 32: Tamices utilizados para definir el tamaño de la viruta del material compuesto. Elaboración propia



Figura 33: Triturado de las virutas. Elaboración propia

El siguiente diagrama resume los procesos necesarios para la obtención del tamaño de la viruta de madera que se requiere para el material compuesto.



Figura 34: Diagrama sobre la definición del tamaño de viruta de pino y raulí. Elaboración propia.

1.1.2 Fabricación de muestras explorando 3 aglomerantes.

Conforme a la información recogida en el capítulo 1 de esta investigación, se desarrollaron muestras con 3 tipos de aglomerantes:

- a. El primero corresponde a la bio espuma (Kehl 1106) bicomponente en la que un isocianato y polioliol crean una reacción al ser mezcladas, dando como resultado una espuma rígida.
- b. El segundo es un poliuretano basado en aceite de ricino, que para efectos de esta etapa experimental será reemplazado por poliuretano monocomponente no biodegradable que cumple las mismas características.
- c. El tercer aglomerante corresponde a acetato de polivinilo (PVA), comúnmente llamado “cola fría”.

Formulación de las muestras

Se realizaron 8 muestras y se aplicó un 20%, 30%, 40% y 50% de aglomerante respecto al peso total de las muestras. Los porcentajes se calcularon en base a la masa total de la mezcla.

Se recomienda que el PU sea utilizado en un 20% de la mezcla (Kehl, 2007), mientras que el PVA ha sido utilizado en otras investigaciones entre un 30% y 40% de la mezcla (Parodi, 2016).

En el caso de la bioespuma no hay antecedentes de proporciones que obtuviesen óptimos resultados, por lo que esta etapa exploratoria será fundamental para generar esta información.

Cada muestra tiene un código, que indica el porcentaje de aglomerante y viruta de madera de la muestra, como se ejemplifica la figura 35. La tabla 11 expone los códigos de cada muestra desarrollada.

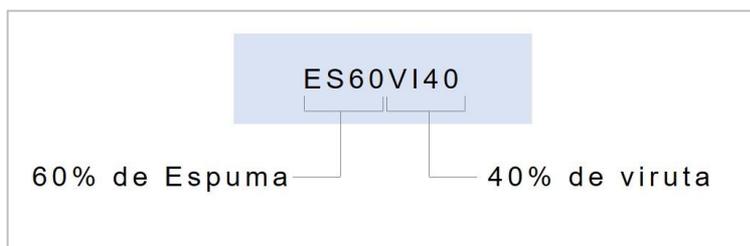


Figura 35: Ejemplo de codificación de las probetas. Elaboración propia.

Tabla 10: Códigos de muestras experimentales y porcentajes de aglomerante y viruta.

| Muestra | Código muestra | Aglutinante (% respecto a la masa) | Viruta (% respecto a la masa) |
|------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Acetato de polivinilo (PVA) | CO20VI80 | 20 | 80 |
| | CO30VI70 | 30 | 70 |
| | CO40VI60 | 40 | 60 |
| Bio espuma | ES20VI80 | 20 | 80 |
| | ES30VI70 | 30 | 70 |
| | ES40VI60 | 40 | 60 |
| | ES50VI50 | 50 | 50 |
| Poliuretano (monocomponente) | PU20VI80 | 20 | 80 |

Fuente: Elaboración propia.

Mezclas de viruta de madera y aglomerantes explorados

En la elaboración de las muestras se precisó de los siguientes elementos: 3 recipientes de polipropileno, gramera marca Pocket Scale, espátulas de madera, moldes de 10 x 10 x 4 cm, cera desmoldante y guantes.

De acuerdo a la densidad que se quiso lograr (1 g/cm³) se hizo el cálculo de proporciones entre aglomerante y sustrato.

Para las muestras de PVA, se pesaron 22 g del aglomerante (que corresponde al 20%) y 88 g de viruta de madera de pino y raulí (correspondiente al 80%). Posteriormente se mezcla la viruta y el aglomerante con la espátula hasta que se observe una mezcla homogénea. Luego se deposita la mezcla en el molde que previamente debe estar cubierto con una cera desmoldante. Este procedimiento se repitió para las muestras de 30% y 40% de PVA.

La muestra con 20% de adhesivo monocomponente a base de poliuretano (Meister PUR 5089), tuvo el mismo tratamiento.

Las muestras con bioespuma como aglomerante, consistieron en un biocomponente de polirol e isocianato en partes iguales (Kehl, 2006). Por ejemplo, para la muestra ES40VI60, se utilizaron 44 g de bioespuma (es decir, 22 g del componente A y 22 g del componente B) y 66 g de viruta de madera de pino y raulí.



Figura 36: Aglomerantes explorados y utensilios necesarios para la mezcla.. Elaboración propia.



Figura 37: Molde para muestras de 10 x10 cm. Elaboración propia.

Prensado

El método de prensado fue aplicado por igual para todos los aglomerantes explorados. Utilizando un molde de MDF de 10 x 10 x 4 cm, se cubrieron sus caras internas con cinta adhesiva, para luego aplicar una cera desmoldante. Luego de esparcir las mezclas realizadas, se utilizaron 4 prensas tipo "C" de 4" para cada molde, dejándolas prensadas durante 6 horas a temperatura ambiente (20°C aproximadamente). Debido a las limitaciones por el contexto en que se desarrolló esta investigación, no fue posible utilizar la estufa de secado para acelerar el proceso de curado, donde se habría sometido las muestras a 80°C, para obtener resultados en 25 minutos (Kehl, 2007; Wechsler, 2013).

Posteriormente se retiraron las prensas, dejando 30 minutos para asegurar que se secura el contenido y finalmente desmoldar.



Figura 38: Proceso de prensado. Elaboración propia.

1.1.3 Evaluación de cada muestra experimental y elección definitiva del aglomerante.

Se compararon todas las muestras bajo tres criterios de evaluación, de fácil observación:

- a. Compactación entre partículas: Se refiere a la efectividad de la adhesión entre las partículas del material. Este criterio fue evaluado como “Baja”, “Media” o “Alta”
- b. Rotura en manipulación: Cuando las muestras no presentan fracturas al momento del desmolde, ni se desprenden partículas al manipularlas. Este criterio fue evaluado indicando si las muestras tienen un desprendimiento y/o fractura “Nulo”, “Bajo”, “Medio” o “Alto”.
- c. Acabado superficial: Es posible que el adhesivo otorgue una apariencia opaca o brillante, distinta a las virutas de pino radiata y raulí (Nothofagus alpina).

De los resultados obtenidos, se determinó el aglomerante definitivo que tendrá el nuevo material compuesto en base a viruta de pino y raulí desarrollado por esta investigación.

1.2 DEFINICIÓN DE LA PROPORCIÓN FINAL DE LA MEZCLA

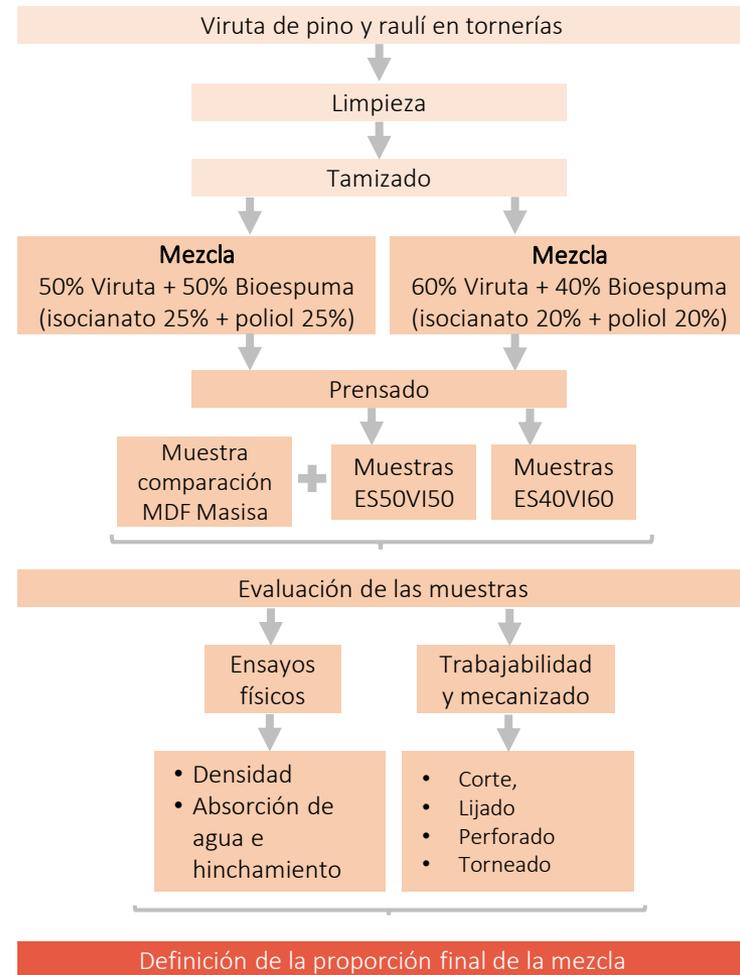


Figura 39: Definición de la proporción final de la mezcla. Elaboración propia.

Posterior a la selección del aglomerante, basado en los resultados de la evaluación, se seleccionaron 2 muestras de éste. El aglomerante seleccionado fue el poliuretano bicomponente que resulta en una espuma biodegradable y las proporciones del aglomerante que se usarán en esta etapa son de 40% y 50% de la mezcla.

Con el fin de escoger 1 proporción para el material desarrollado por esta investigación, ambas muestras serán sometidas a ensayos físicos, pruebas de trabajabilidad y mecanizado, exposición a rayos UV y a la humedad en exterior. Los resultados de esta evaluación serán comparados con los de un material similar al desarrollado.

1.2.1 Preparación de las virutas de raulí y pino para la mezcla.

Se realizó el mismo procedimiento de la etapa de experimentación con aglomerantes, para definir el tamaño de partícula necesario para las mezclas. Los procesos principales son:

- **Limpieza:** Se apartaron todos los residuos distintos a la viruta madera y que eran posibles de extraer manualmente.
- **Tamizado:** Mediante 2 tamices (de 5 y luego 25 mesh) se obtuvo el residuo tipo viruta de madera necesario para la mezcla. Este proceso también complementó la limpieza de residuos ajenos a la viruta que eran de menor tamaño, difíciles de percibir.

- **Trituración:** Se realiza para fragmentar las virutas de mayor dimensión (sobre 5 mesh), preparándolas para el proceso de tamizado anterior.

1.2.2 Elaboración de las muestras con 2 proporciones de aglomerante.

Al igual que en la exploración con distintos aglomerantes, se mantienen los procesos de formulación, mezcla y prensado de las muestras para elaborar el material compuesto.

- **Formulación:** Al no existir datos de investigaciones anteriores respecto a proporciones adecuadas del aglomerante en materiales, ésta fue determinada en base a la etapa de experimentación anterior. La siguiente tabla muestra las 2 proporciones del material compuesto con bioespuma y viruta que serán evaluadas.

Tabla 11: 2 proporciones de la mezcla seleccionadas para su evaluación.

| CÓDIGO | Aglomerante | Sustrato |
|----------|---|----------------------------|
| ES40VI60 | 40% Bioespuma Kehl bicomponente (componente A y B en 20%) | 60% viruta de pino y raulí |
| ES50VI50 | 50% Bioespuma Kehl bicomponente (componente A y B en 25%) | 50% viruta de pino y raulí |

Fuente: Elaboración propia.

- **Mezcla:** Se preparó el molde cubriendo su interior con cinta adhesiva y colocando cera desmoldante. Posteriormente, para la muestra ES4060, se pesaron 44 g de la bioespuma (considerando sus componentes en partes iguales) y 66 de la bioespuma. Para la muestra ES50VI50, se pesaron 50 g de viruta y 50 g de la bioespuma.

El proceso de mezcla debe ser rápido, ya que después de 1 minuto y medio de entrar en contacto sus componentes ocurrirá la reacción (Kehl,s.f.)

La mezcla es depositada en el molde para luego ser prensada.



Figura 40: Mezcla de la muestra ES50VI50. Elaboración propia.

- **Prensado:** El prensado en esta segunda etapa, fue sustituido por un tornillo de banco de 3", marca OKB, que permitió una mejor cohesión de las partículas con el aglomerante.

Las muestras se dejaron prensar a temperatura ambiente nuevamente, debido a las limitaciones producto del contexto en que se desarrolló esta investigación, que no permitieron someter las muestras a una estufa de secado para un curado más rápido. Por precaución se dejaron prensadas durante 4 horas, se destaparon y se dejaron 1 hora más para asegurar su secado. Posteriormente las muestras fueron desmoldadas.

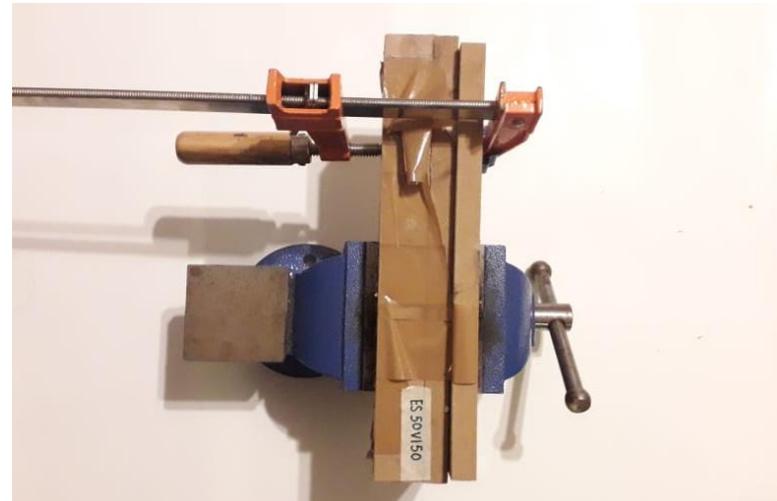


Figura 41: Prensado de las muestras de bioespuma. Elaboración propia.

Dimensionado de las muestras

Con una sierra caladora, de 3000 RPM, marca Black & Decker (ver página 64) las muestras fueron cortadas para obtener grupos muestras de 5 x 5 cm. Para cada evaluación se utilizaron 4 de estas muestras (ensayos físicos, ensayos mecánicos, trabajabilidad, mecanizado y exposición a agentes externos).

El dimensionado de las muestras está basado en las siguientes normas: UNE-EN 323 para determinar la densidad (AENOR, 1994d); UNE-EN 317 para determinar la hinchazón del material después de la inmersión en agua (AENOR, 1994b); y ASTM D 1666-17, que indica normas para pruebas de mecanización (ASTM, 2017).



Figura 42: Muestras dimensionadas para ensayos. Elaboración propia.

1.3 Ensayos físicos realizados

Los ensayos físicos realizados a las probetas de ES50VI50 y ES40VI60 fueron 2: cálculo de densidad y cálculo del hinchamiento por absorción de agua.

Los resultados fueron comparados con una tercera muestra, correspondiente a un tablero de MDF desarrollado por Masisa, compuesto en un 79% de polvo de pino radiata y 21% entre Urea formaldehído y otros químicos. Se seleccionó este material, por la similitud en el tamaño de la partícula, espesores y su densidad media (Plasencio, 2007)

La siguiente tabla describe la composición de los 3 tipo de muestras que se compararon.

Tabla 12: Muestras comparadas en ensayos físicos.

| MUESTRA | Aglomerante | Sustrato |
|-----------------------|---|----------------------------|
| ES40VI60 | 40% Bioespuma Kehl bicomponente (componente A y B en 20%) | 60% viruta de pino y raulí |
| ES50VI50 | 50% Bioespuma Kehl bicomponente (componente A y B en 25%) | 50% viruta de pino y raulí |
| Tablero de MDF Masisa | 21% Urea formaldehido + otros químicos | 79% pino radiata |

Fuente: elaboración propia.

1.3.1 Densidad del material compuesto.

Las densidad de la madera seca de *Nothofagus alpina* es 0,6 g/cm³, la de *Pinus radiata* es 0,48 g/cm³ y la densiad de la bioespuma es de 1,18 g/cm³ (Kehl, s.f.). Sin embargo, es necesario definir la densidad del material compuesto desarrollado.

La norma UNE-EN 323 Determinación de la densidad (AENOR, 1994a), indica que la unidad de medición debe ser en kg/m³, pero esto se modificó a g/cm³ para adaptarlo a una escala menor. Para esta evaluación se emplearon muestras de 5x5 cm. La densidad fue calculada mediante la relación de la masa (g) y el volumen (cm³), en la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{l \times a \times e}$$

Donde ρ = densidad (g/cm³)
m = masa (g)
l = promedio del largo 1 y 2 (mm)
a = promedio del ancho 1 y 2 (mm)
e = promedio del espesor 1 y 2 (mm)

Se usaron 4 repeticiones de cada porcentaje. Para pesar cada muestra se utilizó una pesa gramera marca Pocket Scale, modelo AWS 600; para el cálculo del ancho, largo y espesor, se usó un pie de metro digital marca Ubermann modelo RM813.

1.3.2 Absorción de agua e hinchamiento

Este ensayo fue realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 317 (AENOR, 1994b). Se utilizaron muestras de 5 x 5 cm, con 5 repeticiones para cada muestra.

Para calcular la hinchamiento se midió el espesor de cada muestra antes y después de la inmersión en agua, la que tuvo una duración de 24 horas. Para medir, se utilizó un pie de metro digital marca Ubermann.

Para calcular el porcentaje de hinchamiento, se utilizó la siguiente fórmula:

$$G = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

Donde G = porcentaje de hinchamiento (%)
t₁ = espesor inicial antes de la inmersión (mm)
t₂ = espesor final después de la inmersión (mm)

El cálculo del porcentaje de absorción de agua, se obtiene entre la diferencia de masa inicial (antes de la inmersión) y la masa final (después de la inmersión).



Figura 43: Absorción de agua e hinchamiento. Elaboración propia.

1.4 Pruebas de trabajabilidad

Parte de la caracterización del compuesto es la facilidad con la que se puede mecanizar con diferentes herramientas. Para determinar el aglomerado de viruta y bio espuma con mejor comportamiento al ser trabajado, se realizaron pruebas basándose en la norma ASTM D 1666-17, la que indica métodos para las pruebas de mecanizado en madera y materiales de paneles basados en madera (ASTM, 2017).

Debido a la dificultad de acceso a herramientas industriales por el contexto en que se realizó esta investigación, se emplearon herramientas eléctricas cotidianas para los trabajos de perforado, lijado y corte.

Los resultados fueron evaluados cualitativamente, según apreciaciones fáciles de observar, como posibles desprendimientos de partículas y marcas que dejan las herramientas.

Corte

Se realizaron cortes a 4 probetas de 85x85x10 mm para ambas mezclas. Se utilizaron 2 herramientas de corte (figura 44):

- Sierra circular, de 5800 RPM, marca Dewalt, modelo DW352-B2C y ancho de la hoja es de 1,9 mm
- Sierra Caladora, de 3000 RPM, marca Black & Decker y ancho de la hoja es de 1,5 mm.

Perforado

Para comprobar la resistencia del material ante el la fuerza realizada por un taladro o herramienta perforante, se realizaron 7 perforaciones, utilizando probetas de 5 x 20 cm por cada muestra.

La herramienta usada para la prueba fue un taladro percutor modelo STDH8013 de 3000 RPM, marca Stanley. Las brocas usadas fueron de Ø5 y Ø8 mm, además de una broca paleta de Ø7/8". Las perforaciones fueron realizadas a poca distancia entre una y otra.

Lijado

Para esta prueba se usó una lijadora Bauker, modelo PS220E, de 13000 RPM, con lijas para madera N° 40 y N°80. Las muestras sometidas a la prueba eran de 10 x 10 x 1,5 cm y se evaluó el acabado superficial de las muestras.

Torneado

Mediante el uso de un molde tubular de Ø7 cm y altura 6 cm se desarrolló una muestra cilíndrica que fue llevada a una de las tornerías para evaluar la resistencia de la pieza en el trabajo de torno, probando 2 tipos de gubias: de desbaste y para detallar su perfil. La muestra corresponde a 50% de espuma y 50% de viruta en su composición, debido a la necesidad de mayor rigidez y cohesión entre el sustrato y la mezcla. La pieza fue sometida al torno en 1700 rpm.



Figura 44: Herramientas utilizadas para las pruebas de trabajabilidad de las muestras. Elaboración propia



Figura 45: Pieza cilíndrica para prueba en torno.

1.5 Selección de la proporción definitiva de la mezcla

Conociendo los resultados del trabajo de corte, perforado, lijado y torneado, además de los ensayos físicos, se selecciona la muestra con mejores resultados. Para esto, se realiza una rúbrica basada en la norma ASTM D1666-17 Métodos de prueba estándar para realizar pruebas demecanizado de madera y materiales de paneles de madera (ASTM, 2017). Se evaluó cada trabajo realizado y el grado de defectos que se generaron en el uso de las herramientas. Los resultados de las pruebas se calificaron entre “grado 1” y “grado 5”, donde 1 significa que no hay defectos en el material y 5 significa defectos graves.

1.6 Exposición a agentes externos: rayos UV y tierra húmeda

Aunque para el punto anterior se establece la proporción final de la mezcla, se continuó desarrollando la siguiente exploración.

Se evaluó el comportamiento de las muestras a agentes externos (Muñoz, 2019). Durante 7 meses, desde el 3 de noviembre de 2020 hasta el 7 de junio de 2021, las muestras del material con 40% y 50% de bioespuma fueron expuestas a rayos a tierra húmeda en la interperie (figura 46) y a rayos ultravioleta (figura 47). Las muestras fueron evaluadas quincenalmente, registrando la variación de su masa y volumen. Para calcular la masa se utilizó una gramera marca Pocket Scale; para el volumen, un pie de metro digital marca Ubermann.



Figura 46: Exposición a agentes externos: tierra húmeda. Elaboración propia.



Figura 47: Exposición a agentes externos: rayos UV. Elaboración propia.

1.7 Prueba de exposición a químicos

Se sometieron 3 probetas del material a 3 líquidos químicos caseros (figura 48). Las probetas, de dimensiones 5x5 cm, fueron sumergidas durante 6 horas.

- El recipiente A contiene 100 ml de diluyente (Aguarrás).
- El recipiente B contiene 100 ml de cloro.
- El recipiente C contiene 100 ml de lavalozas diluido en igual proporción con agua.

- El recipiente D contiene 100 ml de antigrasa
- El recipiente E contiene 100 ml de limpiador multiuso



Figura 48: Exposición a químicos. Elaboración propia.

Las muestras fueron evaluadas por su acabado superficial, observando el posible desprendimiento de partículas y la variación de la masa, mediante el uso de un pie de metro digital marca Ubermann y una gramera Scale.

1.8 Ensayos mecánicos

Definida la proporción de la mezcla, se realizaron ensayos mecánicos de flexión y tracción. Sus resultados fueron comparados con un tablero MDF de Masisa, al igual que los ensayos físicos, por sus características similares al compuesto desarrollado.

Ensayo de flexión

Este ensayo fue realizado en el Laboratorio de adhesivos y materiales compuestos de la Universidad del Bío-Bío en Concepción. Con el propósito de identificar la resistencia del material compuesto ante fuerzas de flexión aplicadas, se realizaron 4 muestras de 5 x 25 cm x 1,5 cm, dimensionadas conforme a la norma UNE-EN 310:1994 (AENOR 1994c.). Las muestras fueron sometidas a este ensayo a una velocidad de 5 mm/min.

La resistencia a flexión (f_m) se calculó con fórmula:

$$f_m = \frac{3F_{m\acute{a}x} l_1}{2bt^2}$$

Donde $F_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima (N)
 l_1 = distancia entre ejes de apoyo
 b = ancho de la probeta (mm)
 t = espesor de la probeta (mm)

Se calculó el módulo de elasticidad (MOE) a cada muestra, con la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)}$$

Donde E_m = Módulo de elasticidad en N/mm²
 l_1 = distancia entre ejes de apoyo (mm)
 b = ancho de la probeta (mm)
 t = espesor de la probeta (mm)

Figura 48: Exposición a químicos. Elaboración propia.

Ensayo de tracción

Este ensayo también fue desarrollado en el Laboratorio de adhesivos y materiales compuesto de la Universidad del Bío-Bío en Concepción. Su objetivo fue determinar la resistencia del material a la fuerza de tracción hasta su rotura. Se utilizó la norma UNE-EN 319:1994 (AENOR, 1994d).

Para el ensayo, se utilizaron 4 muestras de 5 x 5 x 1,5 cm, dispuestas en la máquina del ensayo, INSTRON EMIC 23-100.

La velocidad del ensayo fue de 1,28 mm/min, resultado de la multiplicación del espesor promedio de las muestras (16 mm) por 0,08.

Las fórmula necesaria para el cálculo en el ensayo de

tracción es la siguiente: $f_{tL} = \frac{F_{máx}}{ab}$

Donde:

f_{tL} = Resistencia a tracción perpendicular (N/mm²)

$F_{máx}$ = carga de rotura (N)

a y b = largo y ancho de la muestra (mm)

En la siguiente figura se aprecian los 2 tipos de muestras dimensionadas para los ensayos de flexión y



Figura 49: Tipo de probeta usada para ensayos de flexión y tracción. Elaboración propia.

2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE PINO RADIATA Y RAULÍ

La definición de la proporción final de la mezcla en la etapa anterior, fue posible gracias a la definición de su densidad, a los resultados obtenidos de la trabajabilidad y mecanizado del material, los resultados de su exposición a rayos UV y tierra húmeda, además del ensayo de absorción de agua e hinchamiento.

La siguiente etapa de los métodos, tiene como objetivo caracterizar el material compuesto basado en viruta de raulí y pino radiata, para finalmente diseñar potenciales aplicaciones del material. La primera etapa de los métodos

Tabla 13: Etapa 2 de los métodos.

| ETAPA 2 DE LOS MÉTODOS | | |
|---|--|---|
| ETAPA | ACTIVIDAD | TAREAS |
| 2. Caracterizar el material a través de la evaluación y análisis de sus propiedades físico-mecánicas, su resistencia a agentes externos, su trabajabilidad y métodos de conformado. | 2.1 Definir las características del material mediante el análisis de sus propiedades y una evaluación de percepción. | <ul style="list-style-type: none"> a. Comparar resultados de ensayos mecánicos con otros materiales similares. b. Exponer el material a químicos caseros y a agentes exteriores (rayos UV y humedad). c. Explorar nuevas formas del material, mediante moldes. d. Someter a pruebas de mecanizado frente a tecnologías como Router CNC y láser. |
| | 2.2 Reconocer los atributos visibles y tangibles del material | <ul style="list-style-type: none"> a. Cualificar el material a través de una encuesta perceptual (diferencial semántico). |

Fuente: Elaboración propia.

2.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Una vez seleccionada la proporción de la mezcla se caracterizó el material mediante el análisis de sus propiedades mecánicas. Se inicia esta etapa comparando similitudes de los resultados con otros materiales.

2.1.1 CES EduPack: comparación con materiales similares.

Realizado el ensayo mecánico de la proporción final, se compararon los datos obtenidos con otros materiales que tuvieron similares resultados. Este proceso busca ubicar al material en un determinado grupo o familia de materiales de acuerdo con sus características mecánicas.

Para hacer esta comparación se utilizó el software CES EduPack, y se consideraron los resultados de la resistencia a la fuerza de tracción y flexión (MOR y MOE) (Muñoz, 2019).

2.1.2 Exploración de nuevas formas del material, mediante moldes

El desarrollo de moldes para las pruebas y ensayos anteriores, permitió vislumbrar la capacidad del material para adoptar diferentes morfologías, independientes del formato tablero.

Para explorar esta característica del material, se utilizaron 3 tipos de moldes. La evaluación de las

muestras calificó la compactación de las partículas, el acabado superficial resultante y el posible desprendimiento de partículas.

Moldes utilizados para la prueba:

- Molde con doble curva (1): Este molde de MDF de 1,5 cm, fue fabricado para esta investigación con la finalidad de analizar la resistencia del material en sus curvas. La mezcla fue calculada para generar una muestra de 9 x 25 x 1 cm.
- Molde cilíndrico (2): Este molde también fue fabricado con MDF de 1,5 cm para esta investigación. El objetivo era probar la capacidad de generar una muestra con un molde alto, de cara cilíndrica y mediante sólo 1 prensa. La mezcla fue calculada para generar una muestra de Ø7 cm y 6 cm de alto.
- Molde semi esférico (3): este molde, facilitado por el Laboratorio de Materiales Biobasados de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, fue fabricado con tableros de contrachapado, de espesor 1,5 cm. Se empleó ese molde para poner a prueba la resistencia del material, ante la dificultad del prensado por no contar con caras planas. La mezcla para esta muestra fue calculada para obtener una muestra con forma semiesférica, de Ø13 cm con un espesor de 1 cm.

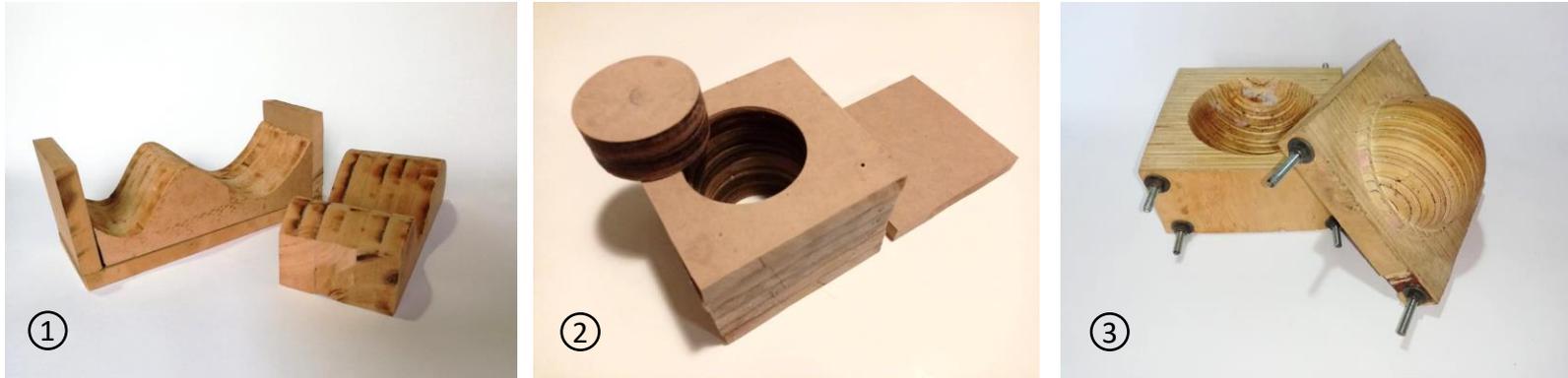


Figura 50: (1) Molde con doble curva, (2) molde cilíndrico y (3) molde semiesférico. Elaboración propia.

2.1.3 Mecanizado: Corte láser y Router CNC

Con la finalidad de indagar más acerca del mecanizado del material compuesto desarrollado, se realizaron pruebas en corte CNC, corte láser y grabado láser.

Corte y grabado láser

Se utilizaron 2 muestras de 10 x 10 cm para evaluar la resistencia del material al grabado y corte láser. Las muestras, de espesor 0,7 y 0,9 cm se establecieron para evaluar la capacidad de corte considerando los máximos permitidos por la máquina.

Se realizaron 3 trabajos por cada muestra:

- Grabado con relleno: con una velocidad de 300 mm/s y una potencia de 30% del máximo.
- Grabado lineal: con una velocidad de 60 mm/s y una potencia de 15% del máximo.

- Corte: con una velocidad de 6 mm/s y una potencia de 55% del máximo.

Cabe indicar que, para lograr distinguir los resultados del grabado, en la segunda muestra se aumentó en un 10% la potencia del grabado con relleno y se disminuyó en el mismo porcentaje el grabado lineal.

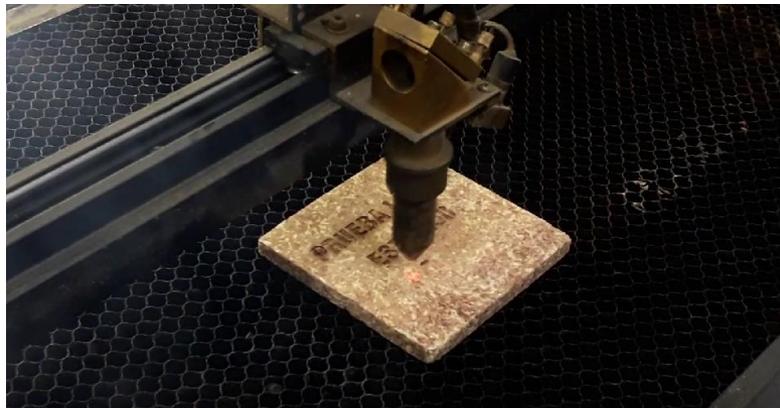


Figura 51: Prueba del material en corte láser. Elaboración propia.

Router CNC

La prueba del material en una máquina de Control Numérico Computarizado (CNC), buscaba explorar otras formas de mecanizado del material. Se diseñó una pieza cóncava en el software Rhinoceros, considerando utilizar una muestra única del material desarrollado de 10 x 10 x 2,3 cm. El taller de Felipe Tobar, encargado de un taller de ebanistería en Santa Rosa, facilitó el uso de la máquina para esta exploración.

Para el corte en CNC se hizo uso de 2 fresas: la primera, que extrajo la mayor cantidad de material, fue de Ø3 mm a una velocidad de 1.200 mm/min; La segunda, fue una fresa de Ø1 mm, que entregó un acabado más fino a la superficie de la muestra.



Figura 52: Prueba del material en Router CNC. Elaboración propia.

2.2 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES PERCEPTUALES

Parte relevante de la caracterización del material consistió en distinguir cómo es percibido. Para esto se realizó una evaluación del aspecto expresivo-sensorial del aglomerado de viruta y bio espuma, con el objetivo de complementar sus características técnicas.

2.2.1 Diferencial semántico

Se utilizó la evaluación de diferencial semántico (Osgood, 1957), como método cuantificar características perceptuales de un objeto (Aros et al., 2009). La evaluación consiste en ir comparando 2 adjetivos adversos (por ejemplo, “suave” v/s “áspero”) del material. Existirán valores establecidos en escala, donde en cada extremo está un concepto. El encuestado deberá elegir a qué concepto se asemeja más y el valor para evaluarlo (Aros et al., 2009).

Población de estudio

El material fue evaluado en 3 grupos: el Grupo 1 corresponde a personas que utilizan productos de bajo impacto ambiental; el el Grupo 2, denominado “grupo de control”, está conformado por diseñadores industriales en proceso de titulación o ya titulados; y el Grupo3, son los posibles usuarios del producto.

Elección de los atributos opuestos

La selección de atributos antónimos entre sí, fue realizada mediante una revisión de literatura (Rognoli, 2010; Aros et al., 2009) que permitió definir 22 pares de atributos contrarios entre sí (ver tabla 15).

Tabla 14: Diferencial semántico

| ATRIBUTO | ESCALA | | | | | | | ATRIBUTO |
|--------------|--------|---|---|---|---|---|---|--------------|
| SUAVE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | ÁSPERO |
| CÁLIDO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | FRÍO |
| BLANDO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | DURO |
| LIVIANO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | PESADO |
| BRILLANTE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | MATE |
| NATURAL | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | ARTIFICIAL |
| ANTIGUO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | MODERNO |
| ELEGANTE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | VULGAR |
| LUJOSO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | HUMILDE |
| COSTOSO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | BARATO |
| BAJA CALIDAD | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | ALTA CALIDAD |
| RESISTENTE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | FRÁGIL |
| FLEXIBLE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | RÍGIDO |
| AGRADABLE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | DESAGRADABLE |
| DURADERO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | TEMPORAL |
| CONVENCIONAL | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | INNOVADOR |
| ABURRIDO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | INTERESANTE |
| RARO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | COMÚN |
| BRUTO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | PROCESADO |
| LIMPIO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | SUCIO |
| BELLO | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | FEO |
| SUSTENTABLE | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | INSOSTENIBLE |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Rognoli, 2010; Osgood, 1957; Aros et al., 2009).

Muestras para la encuesta

Debido a las limitaciones de la investigación producto del contexto de pandemia en que se desarrolló, la encuesta fue hecha de forma virtual mediante formulario de Google.

Para presentar el material, se adjuntaron 2 formatos en esta encuesta.

- El primero, consistió en un video de 20 segundos que muestra cómo se comporta el material al tacto (ver capturas de pantalla en la figura 53).
- El segundo, se trató de una imagen en perspectiva del tablero de bioespuma y viruta, utilizado para las pruebas y ensayos anteriores (ver figura 54).



Figura 53: Capturas del video utilizado para encuestas. Elaboración propia.



Figura 54: Imagen adjunta en encuesta de diferencial semántico.
Elaboración propia.

Encuesta

Se aplicó la encuesta virtual a 22 personas, considerando los 3 grupos de personas:

- En el grupo de control se encuestó a 9 personas.
- En el grupo de diseñadores industriales se encuestó a 6 personas.
- En el grupo de usuarios de una posible aplicación, se encuestó a 7 personas.

Inicialmente no se comentó detalles del material, para no orientar posibles respuestas. Pero ante la dificultad de los encuestados de solamente poder ver el material de forma remota, y la constante curiosidad de éstos con preguntas, se agregó información del material que no guiara sus respuestas.

Las preguntas más frecuentes tenían relación con cómo

se elaboró y para qué usos estaba diseñado.

Cabe señalar que la encuesta al grupo número 3 (usuarios de una posible aplicación) fue incorporada después de la siguiente actividad que se describe a continuación.

3. DISEÑO DE UNA POTENCIAL APLICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

La caracterización del material, fue posible gracias a las nuevas pruebas de trabajabilidad incorporada, a las técnicas de conformado explorada, a la evaluación frente agentes externos y químicos, además de los ensayos mecánicos de tracción y flexión.

Con el material caracterizado, se dio paso a la etapa final de la investigación que consiste en el diseño de una posible aplicación. La siguiente etapa de los métodos se detalla en la siguiente tabla

Tabla 15: Etapa 3 de los métodos

| ETAPA 3 DE LOS MÉTODOS | | |
|---|---|---|
| ETAPA | ACTIVIDAD | TAREA |
| 3. Definir potenciales aplicaciones del material compuesto y diseñar una de acuerdo con las características previamente establecidas, para su validación. | 3.1 Establecer propuestas de aplicaciones del material. | a. Proponer posibles aplicaciones del material compuesto conforme a la caracterización. |
| | 3.2 Diseñar una aplicación del material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí. | a. Realizar una propuesta conceptual del material. b. Definir una aplicación y el usuario. c. Elaborar prototipos experimentales. d. Establecer la cadena de actores |

Fuente: Elaboración propia.

3.1 PROPUESTAS DE APLICACIONES DEL MATERIAL

Para generar propuestas de aplicación se debe considerar que el material compuesto por viruta y bioespuma se debe incorporar a un producto no definido. Es decir, el diseño de la propuesta comienza desde el material, desconociendo el usuario y la necesidad.

La propuesta de aplicaciones fue posible una vez determinada la caracterización del material. Para iniciar, se establecieron 8 áreas o grupos de productos según su función: Mobiliario de interior, productos de interior, revestimientos, productos de exteriores, iluminación, productos de cocina, área infantil y otros.

En cada área se reconocieron posibles aplicaciones, seleccionando 24 en total.

Matriz de Pugh

El método de la matriz de Pugh, fue utilizado para comparar de forma cuantitativa todos los productos, evaluando a cada uno respecto a las características del material compuesto de viruta de madera.

Cada característica, según el producto evaluado, fue calificada con +1, -1 o 0.

Donde

- +1 = significa que la característica contribuye de forma positiva en la aplicación.
- -1 = significa que la característica influye de forma negativa en la aplicación.

- 0 = significa que la propiedad es irrelevante para la aplicación.

Una vez realizadas las evaluaciones, se suman los valores de cada producto. Aquellos productos con mejor evaluación serán aquellos en que el material resulta mejor aplicado.

Tabla 16: Matriz de Pugh elaborada para la investigación

| ÁREA | PRODUCTO | CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL A | CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL B | RESULTADO |
|--------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| ÁREA 1 | PRODUCTO 1 | -1 | 1 | 0 |
| | PRODUCTO 2 | 1 | 1 | 2 |
| ÁREA 2 | PRODUCTO 3 | 1 | 0 | 1 |
| | PRODUCTO 4 | 1 | -1 | 0 |
| | PRODUCTO 5 | -1 | 0 | -1 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2 DISEÑO DE UNA APLICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO BASADO EN VIRUTA DE MADERA DE PINO Y RAULÍ.

La etapa final de la investigación señala los posibles usos del material compuesto elaborado, seleccionando y desarrollando 1 de sus aplicaciones más adecuadas, conforme a los criterios de diseño y sustentabilidad establecidos. A continuación se presenta el proceso de diseño para una aplicación del material compuesto desarrollado basado en viruta de madera de pino y raulí.

3.2.1 Aplicación seleccionada

Mediante el método de la Matriz de Pugh, se seleccionó el producto que obtuvo una mejor evaluación, es decir, aquel producto cuyas características se ven favorecidas por el material compuesto basado en viruta de madera.

Una vez reconocida la aplicación que se desarrollará en esta investigación, se realizó una conceptualización basada en el material para definir las formas, función y uso de la aplicación.

3.2.2 Conceptualización

La conceptualización del producto se obtuvo del cruce de resultados de la encuesta de diferencial semántico y el método de matriz de Pugh. El primer resultado, definió la característica mayormente reconocida del material; el segundo, un potencial uso.

Cabe señalar que la conceptualización es de la aplicación del material y no del material en sí. Por lo tanto, para otras aplicaciones se debe considerar nuevamente este proceso.

El concepto guió el diseño del producto: su morfología, su función, y el uso.

3.2.3 Definición del contexto y el usuario

El contexto en que sería usado el producto establecido se rigió por 3 puntos:

- a. Maximizar el uso del residuo de viruta de madera como materia prima para la fabricación de la aplicación.
- b. Contemplar las características del material (y sus limitaciones), resultante de los ensayos realizados.
- c. Contemplar el fin de su nueva vida útil, según los requerimientos del material definidos.

Una vez determinado el contexto en que se desarrolla la aplicación, fue posible definir al usuario.

El usuario propuesto se caracterizó conforme a una revisión de literatura. Entre las características del usuario está su rango etario, su interacción con el producto y su rol en la cadena de actores en el ciclo de vida.

3.2.4 Mapa de reconocimiento del concepto en productos similares

Con el fin de identificar las características del producto en base al concepto definido, se realizó un mapa tipo plano cartesiano. En cada eje se ubica 1 atributo del concepto y su opuesto (ver figura 55), en los cuadrantes se disponen productos similares para el mismo usuario, evaluándolos según el atributo que más los representa.

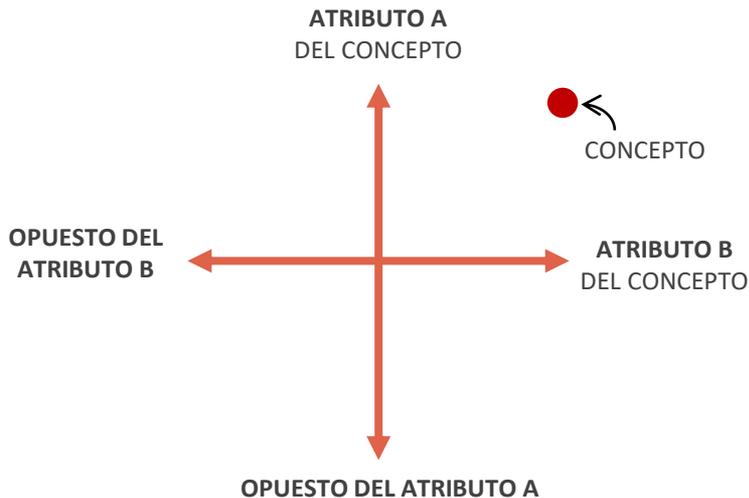


Figura 55: Mapa de reconocimiento del concepto en productos similares. Elaboración propia

El reconocimiento de estos productos se realizó para esclarecer la definición del concepto y, a su vez, definir las características del producto.

3.2.5 Moodboard del concepto

El moodboard del concepto se utilizó para reunir imágenes que en su forma o función estuviese el concepto definido y luego plasmarlo en el producto que se desarrolló. Entre las imágenes destacan diferentes contextos, colores, formas, situaciones y referentes relacionados al concepto o vinculado a 1 atributo de éste.

3.2.6 Definición de la morfología del producto:

Bocetos y modelado 3D.

Las etapas anteriores fueron determinantes para lograr diseñar la morfología y funcionamiento de la aplicación del material compuesto mediante bocetos y modelado 3D.

Mediante el uso de bocetos se aproximó al volumen general de la aplicación seleccionada, así como el mecanismo de ensamblaje. Por otra parte, el modelado 3D permitió el cálculo específico de sus dimensiones y el posterior renderizado de la propuesta.

Al definir las dimensiones de la aplicación, tanto de sus piezas como en su conjunto, posibilitó establecer el volumen y la masa del producto. Debido al tipo de usuario, la masa total del producto fue una condicionante constante en la definición de la morfología del producto.

Exploración de moldes

El producto fue diseñado para que sus piezas fueran fabricadas por moldes. Para evaluar la morfología del producto, se quiso estimar la cantidad de viruta de madera necesaria para la elaboración de 1 producto y evaluar la efectividad del mecanismo de conformado para evitar posibles fallas al desmoldar cada pieza.

Para resolver estas interrogantes, se fabricaron 2 piezas del producto distintas morfológicamente entre sí. La escala de estos moldes (y los productos) fue 7/10, debido a las herramientas disponibles y para optimizar los materiales. Ambas piezas fueron elaboradas tal cual como se describe en la etapa 1 de los métodos.

3.2.7 Render en uso

Se presenta un render en uso, con el contexto seleccionado y el usuario definido. Se incorpora en este render una propuesta para el almacenamiento del producto.

3.2.8 Ciclo de vida y cadena de actores de la aplicación.

La investigación finaliza con la presentación de la cadena de actores, identificados desde la revisión de literatura, en el origen del árbol de los bosques chilenos hasta el diseño de la propuesta y como se plantea su fin de vida. Como se detalla en el capítulo 1, se diseña un ciclo de vida circular, hasta lograr la biodegradabilidad del producto.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



1. DESARROLLO DEL MATERIAL COMPUESTO BASADO EN VIRUTA DE MADERA DE PINO Y RAULÍ

A continuación, se describen los resultados obtenidos de las 3 etapas de los métodos señaladas en el capítulo anterior.

1.1 Determinación del tamaño de la viruta y del aglomerante.

1.1.1 Definición del tamaño de la viruta de pino y raulí para la mezcla.

Luego del proceso de limpieza y secado de la viruta, se debió definir el tamaño de la viruta de pino y raulí necesario para la mezcla mediante dos tamices. Como resultado del proceso de tamizado, se obtuvo lo representado en la figura 56.

Producto del tamizado de 1 saco de viruta, se obtienen 2 tamaños de viruta (Viruta A y B) y, en tercer lugar, se distingue el aserrín. Debido al propicio tamaño de la partícula para mejorar la cohesión de la mezcla (Diaz-Vaz et al., 2009; Poblete y Burgos, 2010) se selecciona el residuo tipo **viruta B** como el sustrato del material compuesto desarrollado por esta investigación.

1.1.2 Evaluación de cada muestra experimental y elección definitiva del aglomerante

Para definir el aglomerante se realizó una etapa exploratoria, utilizando 3 tipos de adhesivos: Poliuretano monocomponente, bioespuma

bicomponente y PVA.

Las muestras resultantes, sus porcentajes y sus evaluaciones se presentan en la siguiente tabla.

| | | Tamizado |
|----------|--|--|
| viruta A |  | $>4 \text{ mm}^2$ |
| viruta B |  | $\leq 4 \text{ mm}^2$ $>0,7 \text{ mm}^2$ |
| aserrín |  | $\leq 0,7 \text{ mm}^2$ |

Figura 56: Determinación del tamaño de la viruta. Elaboración propia.

Tabla 17: Evaluación de experimentación con 3 aglomerantes.

| IMAGEN MUESTRA | CÓDIGO MUESTRA | DENSIDAD (G/CM ³) | COMPACTACIÓN | ROTURA EN MANIPULACIÓN | ACABADO SUPERFICIAL |
|--|----------------|-------------------------------|--------------|---|--|
|  | CO20VI80 | 0,29 | Media | Alto Desprendimiento; Fractura media-alta. | - No se visualiza el PVA. - Mezcla opaca. - Mantiene color de las virutas. |
|  | CO40VI60 | 0,25 | Media-Baja | Alto Desprendimiento; Fractura media. | - No se visualiza el PVA. - Mezcla opaca. - Mantiene color de las virutas. |
|  | ES20VI80 | 0,3 | Baja | Alto Desprendimiento; Fractura media | - No se visualiza la bioespuma. - Mezcla opaca. - Mantiene color de las virutas. |

Fuente: Elaboración propia.

| IMAGEN MUESTRA | CÓDIGO MUESTRA | DENSIDAD (g/cm ³) | COMPACTACIÓN | ROTURA EN MANIPULACIÓN | ACABADO SUPERFICIAL |
|---|----------------|-------------------------------|--------------|--|--|
|  | ES30VI70 | 0,32 | Media-Baja | Desprendimiento medio; Fractura baja. | <ul style="list-style-type: none"> - Aspecto amarillo leve sin brillo. - Mantiene color de las virutas. |
|  | ES40VI60 | 0,48 | Media - Alta | Desprendimiento bajo; Nula fractura. | <ul style="list-style-type: none"> - Aspecto amarillo medio con brillo bajo. - Aun se distinguen las virutas. |
|  | ES50VI50 | 0,66 | Alta | Desprendimiento nulo; Nula fractura. | <ul style="list-style-type: none"> - Se visualiza el aglomerante - Aspecto amarillo con brillo alto. - Las virutas no se distinguen totalmente. |
|  | PU20VI80 | 0,36 | Media -Alta | Se desmiga, aunque no se fractura fácil. | <ul style="list-style-type: none"> - No se visualiza el aglomerante. - Mantiene color de las virutas. |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos es posible afirmarlo siguiente:

- a. Como observación general, las muestras de bio espuma y poliuretano aumentan la efectividad de adhesión a medida que aumentan la cantidad del aglutinante, lo que no ocurre con el PVA donde, a medida que éste aumenta, menos cohesión en sus partículas tiene.
- b. Se desestima utilizar el aglomerante de PVA por mantener una constante fragilidad a la manipulación y bajo nivel de cohesión.
- c. Se infiere que el aglomerante de bioespuma es el que aumenta la densidad de las muestras.
- d. Las muestras de bio espuma y poliuretano, aumentan visiblemente su tonalidad amarilla a medida que aumenta el porcentaje de aglutinante.
- e. Aunque la muestra con Poliuretano monocomponente incorpora más residuo y tiene

una mejor cohesión de partículas que la muestra de PVA con mismo porcentaje, su compactación no es la más óptima, presentando desprendimiento del material.

- f. La bioespuma en proporción 40% y 50% de aglomerante lograron mayor rigidez y compactación de la mezcla. Sin embargo, su contenido de aglomerante es alto, apariencia (a diferencia de los otros aglomerantes) destaca su alto contenido en aglomerante, lo que

Las muestras escogidas según las viables evaluadas, fueron las muestra con contenían un 50% y 40% de bioespuma. Éstas fueron comparadas en la siguiente etapa, correspondiente a ensayos físicos, pruebas de trabajabilidad y exposición a agentes externos.

1.2 DEFINICIÓN DE LA PROPORCIÓN FINAL DE LA MEZCLA.

Para comparar las 2 proporciones de la mezcla de (40% y 50% en aglomerante) y poder seleccionar la proporción definitiva de la mezcla, se realizaron ensayos físico-mecánicos, pruebas de trabajabilidad y exposición a agentes externos como los rayos ultravioleta y la humedad en la intemperie.

Cada resultado fue comparado además con las evaluaciones de un tablero de MDF de las mismas dimensiones de las probetas.

1.2.1 Ensayos físicos.

Los ensayos físicos realizados a las muestras de ES50VI50 y ES40VI60, fueron los cálculos de densidad y absorción de agua e hinchamiento.

Densidad.

Los resultados de la medición de la densidad de las muestras se exponen en la tabla 19.

A partir de los resultados de medición de densidad, se observa que la densidad mayor corresponde a la muestra de comparación (0,66 g/cm³), en segundo lugar la tiene aquella que contiene un 50% de bio espuma (0,55 g/cm³) y finalmente la que tiene un 40% de aglomerante, con densidad 0,4 g/cm³.

Si se compara la relación viruta v/s aglomerante, es posible inferir que la bio espuma entrega una menor densidad a la mezcla comparada con otros aglomerantes como, por ejemplo, urea formaldehído.

Tabla 18: Ensayos físicos

| | Muestra | Densidad (g/cm ³) |
|---------------------------------|----------|-------------------------------|
| ES40VI60 | A | 0,39 |
| | B | 0,41 |
| | C | 0,38 |
| | D | 0,39 |
| | E | 0,42 |
| | Promedio | 0,40 |
| ES50VI50 | A | 0,49 |
| | B | 0,56 |
| | C | 0,52 |
| | D | 0,55 |
| | E | 0,50 |
| | Promedio | 0,52 |
| Tablero de Comparación (Masisa) | A | 0,67 |
| | B | 0,66 |
| | C | 0,69 |
| | D | 0,63 |
| | E | 0,66 |
| | Promedio | 0,66 |

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, la figura 57 sintetiza los resultados de la tabla.

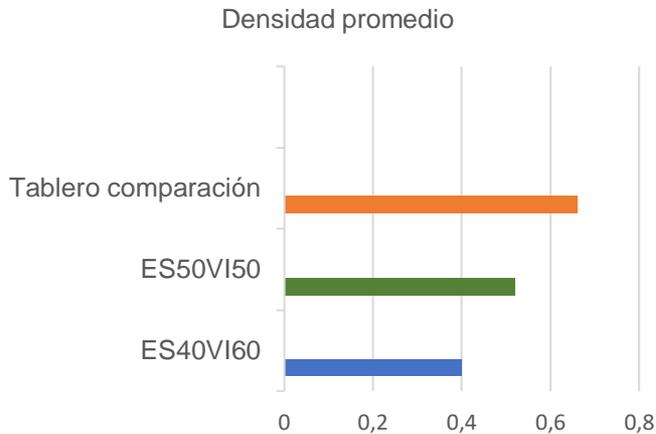


Figura 57: Gráfico comparativo de densidades. Elaboración propia.

Absorción de agua e hinchamiento.

Bajo la norma UNE-EN 317- Determinación del hinchamiento en espesor después de inmersión en agua (AENOR, 1994b). Al igual que el cálculo de la densidad, los resultados de la prueba de absorción de agua e hinchamiento fueron comparados con los resultados de un tablero de MDF de la empresa Masisa. Estos resultados se muestran en la tabla 20.

En los resultados obtenidos es posible ver diferencias significativas, particularmente en el porcentaje de absorción de agua, en la que la muestra de 40% de espuma absorbe más del doble que las muestras de

50% de espuma. En cuanto a los resultados de hinchamiento, las muestras de espuma no marcan una gran distancia porcentual, en comparación la muestra de tablero comparado que tiene muestra un hinchamiento considerable.

Tabla 19: Ensayo de absorción de agua e hinchamiento

| | Muestra | Hinchamiento luego de 24 hrs (%) | Absorción de agua luego de 24 hrs (%) |
|---------------------------------|----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| ES40VI60 | A | 2,97 | 83,57 |
| | B | 3,53 | 83,81 |
| | C | 3,49 | 81,01 |
| | D | 3,71 | 81,19 |
| | E | 3,13 | 80,05 |
| | Promedio | 3,37 | 81,93 |
| ES50VI50 | A | 3,66 | 41,01 |
| | B | 2,09 | 28,67 |
| | C | 2,49 | 24,63 |
| | D | 2,54 | 20,69 |
| | E | 1,61 | 14,94 |
| | Promedio | 2,48 | 32,49 |
| Tablero de Comparación (Masisa) | A | 20,66 | 43,26 |
| | B | 17,65 | 39,85 |
| | C | 18,37 | 59,84 |
| | D | 29,09 | 47,64 |
| | E | 20,21 | 38,90 |
| | Promedio | 21,20 | 45,90 |

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, la figura 57 sintetiza los resultados de la tabla.

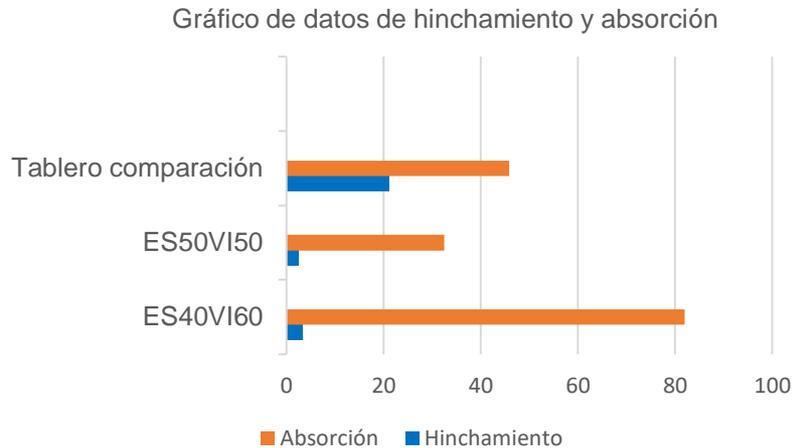


Figura 58: Gráfico comparativo de absorción de agua e hinchamiento. Elaboración propia.

1.2.2 Pruebas de trabajabilidad

Parte de la caracterización del compuesto es la facilidad con la que se puede mecanizar con diferentes herramientas. Para determinar el aglomerado de viruta y bio espuma con mejor comportamiento en su trabajabilidad, se realizaron pruebas basándose en la norma ASTM D 1666-17, la que indica métodos para las pruebas de mecanizado en madera y materiales de paneles basados en madera (ASTM, 2017).

Debido a la dificultad de acceso a herramientas industriales por el contexto en que se realizó esta

investigación, se emplearon herramientas eléctricas cotidianas.

Las muestras sometidas a los trabajos de perforado, lijado, corte y torneado fueron evaluadas cualitativamente, identificando posibles desprendimientos de partículas y marcas que dejan las herramientas. Esta evaluación se basó en la norma ASTM D1666-17 Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de mecanizado de madera y materiales de paneles de madera (ASTM, 2017).

Corte

Para esta prueba se utilizaron 2 herramientas distintas: sierra circular y sierra caladora. En el caso del uso de la sierra caladora, la muestra con 60% de viruta tiene alto desprendimiento de partículas y puede provocar pérdida considerable del material. Por el contrario, la muestra de 50% viruta, tiene excelente resultado con este tipo de sierra, dejando un corte prolijo y recto, sin pérdida de partículas y sin marcas de la sierra.

Por otro lado, el corte realizado con la sierra circular tuvo mejores resultados en ambas muestras (60% y 50% de viruta). Se estima que las revoluciones por minuto superiores a la sierra caladora permiten mejores terminaciones en el material. Aunque, de forma comparativa, sigue siendo mejor evaluada la muestra de 50% de viruta, al obtener un mejor acabado y menor desprendimiento del material.



Figura 59: Corte con sierra caladora para muestra con 60% de viruta. Vista frontal. Elaboración propia.



Figura 60: Corte con sierra caladora para muestra con 50% de viruta. Vista frontal. Elaboración propia.



Figura 61: Corte con sierra circular para muestra con 60% de viruta. Vista isométrica. Elaboración propia.



Figura 62: Corte con sierra circular para muestra con 50% de viruta. Elaboración propia.

Perforado

Las perforaciones realizadas en la muestra de 50% de viruta, resultan mejor acabadas en el caso de las brocas de 5 y 8 mm. Sin embargo, al tratarse de una perforación más grande el círculo de la perforación no es perfecto porque se desprenden partículas.

En el caso de la muestra de 60% de viruta, el desprendimiento de partículas es mayor a la otra muestra, dejando círculos imperfectos tanto en brocas menores como las de mayor diámetro.



Figura 63: Perforado en muestra con 60% de viruta.
Elaboración propia.



Figura 64: Perforado en muestra con 50% de viruta.
Elaboración propia.

Tabla 20: Evaluación del trabajo de lijado en muestras

| ES40VI60 | | |
|--|--|---|
| Antes de lijado | Lijado N° 40 | Lijado N° 80 |
|  |  |  |
| ES50VI50 | | |
| Antes de lijado | Lijado N° 40 | Lijado N° 80 |
|  |  |  |

Fuente: Elaboración propia.

Lijado

Las pruebas de lijado tuvieron buenos resultados en ambas muestras, especialmente con el uso la lija de grano más grueso (N° 40), que permite pulir la superficie quitando las imperfecciones, dejándola lisa al tacto, sin relieves. La lija más fina (N°80) permite un mejor acabado de la superficie, pero sólo si es aplicada luego de una lija más gruesa. El desprendimiento de partículas que significa realizar esta operación es insignificante. Esto se aplica para ambas muestras.

Torneado

Para la prueba del torno, se utilizaron 2 tipos de gubias: una gubia curva de mayor tamaño para desbaste y una gubia delgada punto centro para perfilado y detalles de la pieza (gubias descritas en la página 35). El torno industrial fue puesto en 1700 rpm para esta prueba.

Ante los resultados demostrados en las pruebas de corte y perforado se desestimó aplicar la prueba de torneado para la muestra con 60% de viruta, al demostrar no ser lo suficientemente resistente a este tipo de trabajos y la peligrosidad que conlleva su experimentación en el torno.

La muestra con 50% de viruta obtuvo excelentes resultados en el uso de ambas gubias, demostrando su capacidad de ser torneada si así se requiere. Se concluye que al igual que los resultados del trabajo de corte con sierra circular, las altas revoluciones por minuto de las herramientas no causan defectos en el material.



Figura 65: Pieza torneada. Elaboración propia.

Selección de la proporción final de la mezcla en base a los resultados de la trabajabilidad

La evaluación de los resultados de la trabajabilidad para seleccionar 1 proporción de la mezcla se basaron en la norma ASTM D1666-17 Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de mecanizado de madera y materiales de paneles de madera (ASTM, 2017).

Los resultados fueron evaluados según el grado de defecto:

- Grado 1 (defecto bajo): El material no presenta pérdidas ni marcas.
- Grado 2 (defecto bajo): Desprendimiento de partículas <30%. La herramienta no deja marcas en la muestra.
- Grado 3 (Defecto medio): Desprendimiento de partículas <30%. La herramienta deja marcas en la muestra.
- Grado 4 (Defecto alto): Desprendimiento de partículas entre 30% y 50%.
- Grado 5 (Defecto grave): Desprendimiento >50%.

Conforme a los resultados obtenidos en la trabajabilidad del material (tabla 22), se concluye que las muestras con 60% de viruta de madera no presenta buen mecanizado frente a las herramientas utilizadas, restringiendo potenciales aplicaciones del material. A

pesar que la muestra con 50% de viruta significa requerir de un porcentaje mayor de aglomerante, presenta excelentes resultados en la trabajabilidad y resistencia a la humedad, también abre la posibilidad de otro tipo de mecanizados.

De esta forma, la proporción definitiva para el material compuesto basado se estableció en 50% bioespuma y 50% viruta de pino y raulí.

Tabla 21: Evaluación de la trabajabilidad de las muestras según grado de defecto

| | Bioespuma 40% + Viruta de pino y raulí (60%) | Bioespuma 50% + Viruta de pino y raulí (50%) |
|--|---|---|
| CORTE (SIERRA CALADORA) | Grado 3 | Grado 1 |
| CORTE (SIERRA CIRCULAR) | Grado 2 | Grado 1 |
| PERFORADO | Grado 4 | Grado 2 |
| LIJADO | Grado 1 | Grado 1 |
| TORNEADO | - | Grado 1 |

Fuente: elaboración propia a partir de (ASTM, 2017)

1.2.3 Exposición a agentes externos

Para evaluar el comportamiento de los 2 tipos de muestras en la intemperie, se expuso a rayos ultravioleta y se puso en contacto con tierra húmeda. La variación de la masa y volumen de cada muestra fue registrada durante 7 meses cada 15 días, además de incorporar su registro fotográfico.

Rayos UV

Como resultado de la exposición a rayos ultravioleta, las muestras presentaron un cambio en su coloración desde el día 4, tomando una tonalidad naranja, que fue oscureciendo la muestra hasta un tono café oscuro en el séptimo mes. En cuanto a masa, en el caso de las muestras con 60% de viruta perdió en promedio un total de 0,8 g al finalizar la prueba y la muestra con 50% de viruta, perdió en promedio 0,2 g.

En la variación del volumen de las muestras se percibe que la muestra con 60% disminuyó en promedio 4 veces más que las muestras con 50% de viruta (2 y 0,5 cm³, respectivamente). Además es notorio el deterioro de la muestra al final de la prueba.

Es posible afirmar que la disminución en un 10% del aglomerante, expone a la muestra 4 veces más a estos agentes externos.



Figura 66: Antes y después exposición a rayos UV.
Elaboración propia.

Exposición a tierra húmeda

En términos generales, como resultado de la exposición de las muestras a tierra húmeda, se obtuvo menores variaciones respecto a su masa, aunque la disminución de su volumen fue prácticamente la misma entre ambos tipos de muestra.

Las variaciones de la masa en las muestras a lo largo de los 7 meses de la prueba resultaron insignificantes, ya que solamente disminuyeron 0,2 g en promedio ambas muestras.

La variación del volumen, en cambio, fue de 1,4 cm³ para las muestras con 50% de viruta y 1,3 cm³ para las muestras con 60% de viruta.

Cabe señalar que, a diferencia de la exposición a rayos UV, el acabado superficial de las muestras tuvo menor deterioro.

Además, durante los 7 meses no se registró la presencia de algún organismo descomponedor de materia orgánica.

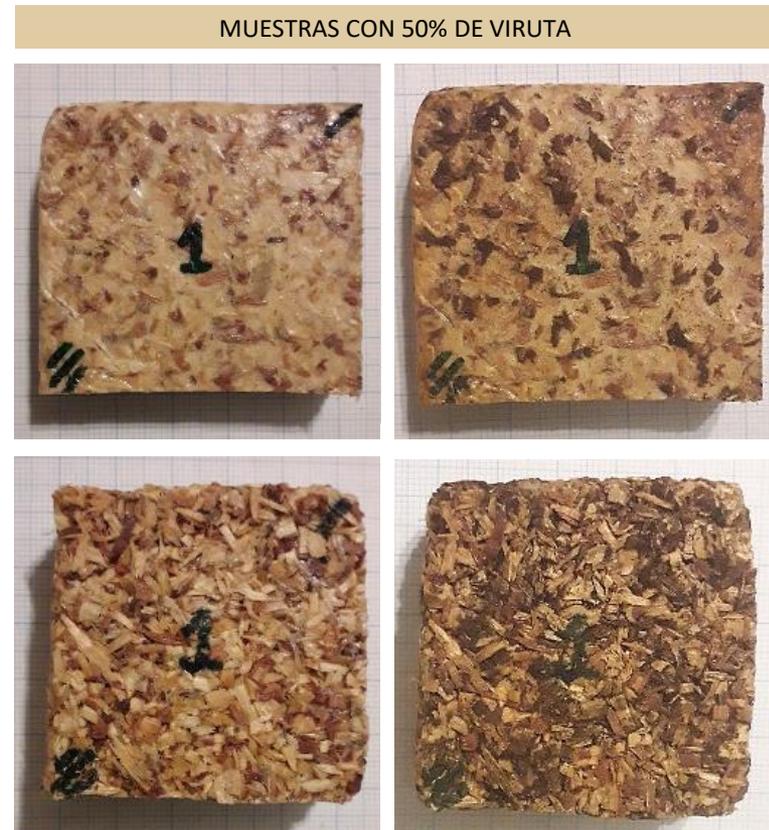


Figura 67: Antes y después exposición a tierra húmeda.
Elaboración propia.

1.2.4 Exposición a químicos caseros

Tabla 22: Resultados de la exposición a químicos caseros

| CONTENIDO | MUESTRA A (DILUYENTE) | MUESTRA B (CLORO) | MUESTRA C (LAVALOZAS) | MUESTRA d (ANTIGRASA) | MUESTRA E (Multisusos) |
|-----------------------------------|---|--|---|--|--|
| ANTES DE LA INMERSIÓN |  |  |  |  |  |
| DESPUÉS DE LA INMERSIÓN (6 HORAS) |  |  |  |  |  |
| OBSERVACIONES | <ul style="list-style-type: none"> • Leve resalto de las virutas de raulí. • No hay pérdidas de partículas. • Se elimina la tinta de su superficie | <ul style="list-style-type: none"> • La muestra se decolora y la viruta de raulí resalta un color naranja. • No hay pérdida de partículas. | <ul style="list-style-type: none"> • No hay cambios nocivos en la muestra, tampoco hay pérdidas de partículas. | <ul style="list-style-type: none"> • La muestra tiene una decoloración leve. • Se elimina totalmente la tinta de su superficie. • No hay pérdida de partículas. | <ul style="list-style-type: none"> • La muestra tiene una decoloración leve. • Se elimina parcialmente la tinta de su superficie. • No hay pérdida de partículas. |

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra los resultados de 5 muestras sometidas a 5 líquidos químicos caseros. Además de una evaluación perceptual, se midió la variación de la masa y volumen de las muestras. Los resultados son los siguientes:

- Ninguna de las muestras presentó una variación de su masa o volumen, pero sí en sus tonalidades mostrando una decoloración (sólo en algunos casos).
- Muestra A, sumergida en diluyente (Aguarrás), presentó una leve resalta del contraste de las virutas de raulí respecto a la bioespuma.
- Muestra B, sumergida en cloro, presentó una alta decoloración de y cambio de la tonalidad hacia colores naranjos en las virutas de raulí visibles.
- Muestra C, sumergida en lavalozas, no presentó ninguna variación.
- Muestra D, sumergida en antigrasa, presentó una leve decoloración en su apariencia. También se demuestra que elimina posibles tintes en su totalidad.
- Finalmente, la muestra E, sumergida en limpiador multiusos, presentó un resalta de la viruta de raulí (similar a la muestra A). En cuanto a la tinta, se elimina con menor eficacia comparada con el antigrasa.

1.2.5 Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos realizados fueron 2: ensayo de flexión y tracción. Sus resultados fueron comparados con los de un tablero de MDF fabricado por Masisa, al igual que en los ensayos físicos. Estos datos fueron obtenidos en una investigación previa (Muñoz, 2019).

Ensayo de flexión

Los resultados del módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) del ensayo de flexión aplicado a las 4 muestras:

Tabla 23: Resultados de ensayo de flexión

| MUESTRA | MOE (GPa) | MOR (Mpa) |
|-----------------|-------------|-------------|
| A | 0,63 | 4,50 |
| B | 0,82 | 7,19 |
| C | 0,91 | 7,15 |
| D | 0,91 | 7,61 |
| PROMEDIO | 0,82 | 6,61 |
| MDF | 1,96 | 13,1 |

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura:

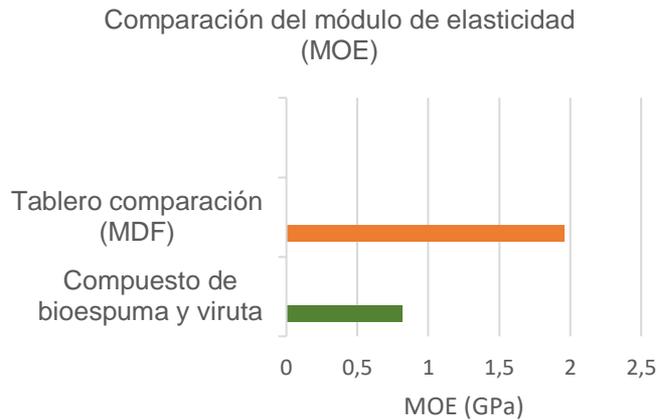


Figura 68: Comparación de MOE. Elaboración propia.

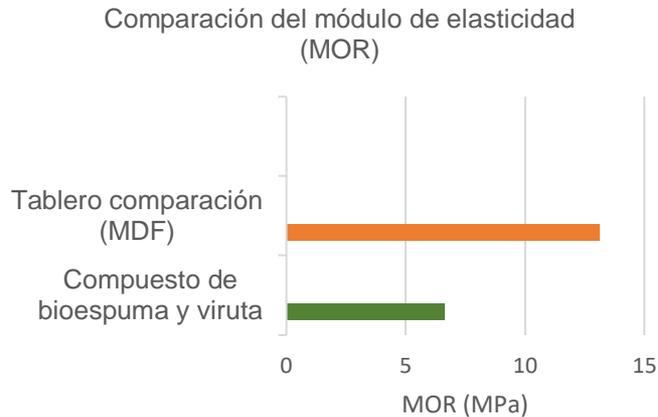


Figura 69: Comparación de MOR. Elaboración propia.

La comparación de los resultados del ensayo de flexión entre el material compuesto desarrollado y el tablero de partículas MDF arroja que entre ambos existe una diferencia del MOE de 1,14 GPa y 6,49 MPa en sus MOR. Siendo el tablero de comparación el que duplica en sus valores al material basado en viruta de madera.

Esto significa que el tablero de MDF presenta mayor rigidez y que, en su módulo de rotura, realiza un esfuerzo mayor hasta el fallo o rotura en comparación al compuesto desarrollado por esta investigación.

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción realizado se llama Internal Bond Strength. Los resultados y la comparación con el tablero seleccionado están en la siguiente tabla.

Tabla 24: Resultados de ensayo de tracción

| MUESTRA | Tracción (MPa) |
|-----------------|----------------|
| A | 0,46 |
| B | 0,33 |
| C | 0,46 |
| D | 0,51 |
| PROMEDIO | 0,44 |
| MDF | 0,36 |

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, se puede contrastar los resultados con el tablero de comparación en la figura 70:

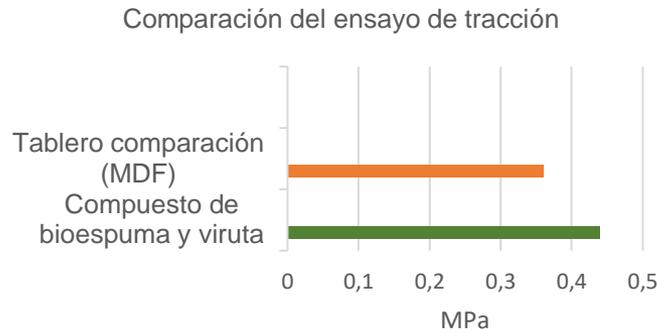


Figura 70: Comparación de ensayo de tracción. Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de tracción arrojan una diferencia de 0,08 situando al compuesto basado en viruta por sobre el tablero de comparación de MDF, aunque la diferencia es insignificativa. Es posible determinar que ambos tienen una resistencia similar antes del fallo o rotura.

2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Esta etapa de la investigación recoge las pruebas realizadas anteriormente, para establecer comparaciones con otros materiales, plantear el método de conformado del material, aplicar pruebas de mecanizado más complejas (diferentes a las de la etapa anterior) y, para finalizar, establecer cómo se percibe el material.

2.1 Análisis de propiedades mecánicas

2.1.1 CES EduPack: comparación con materiales similares.

Los resultados de los ensayos de mecánicos anteriormente realizados (ensayo de tracción, MOR y MOE) se utilizaron para posicionar al material compuesto basado en viruta de madera de pino y raulí dentro de un grupo o familia de materiales con características similares. Para esto se utilizó el software CES EduPack (2013).

La base de datos requiere de 2 variables para sus resultados. La variable escogida como una constante fue la densidad del material compuesto desarrollado ($0,5 \text{ g/cm}^3$). De esta forma se obtendrán 3 resultados: según MOE, MOR y tracción.

Según la base de datos del software, el MOE del material lo vincula con los **materiales naturales, principalmente por sus características similares a la madera blanda de pino** (ver figura 71).

En cambio, utilizando las variables del MOR y de tracción del nuevo material compuesto **se acerca a la familia de las espumas, particularmente a las espumas metálicas**. Lo anterior se puede observar las figuras 72 y 73.

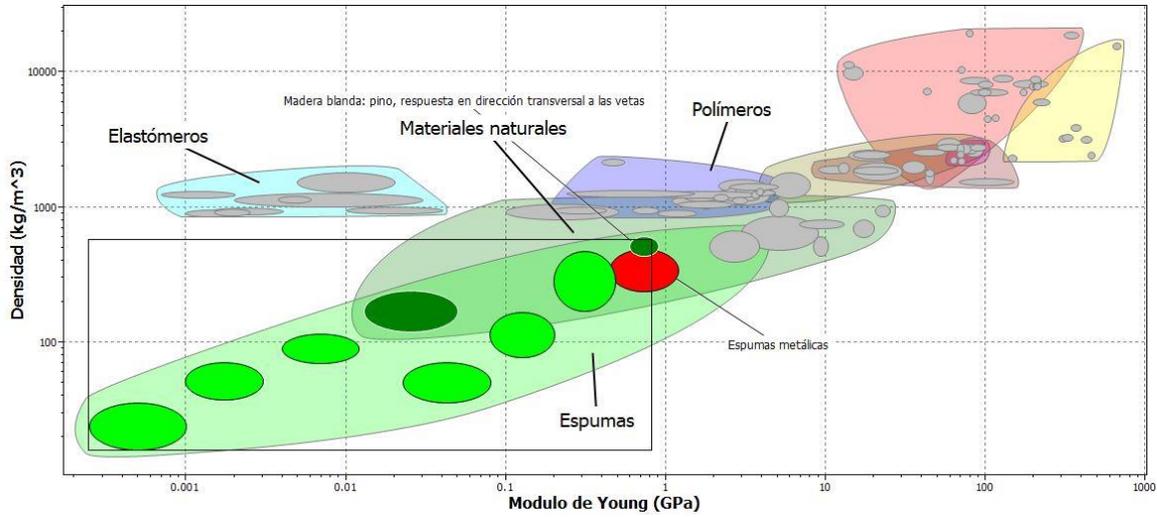


Figura 71: Comparación con materiales similares según MOE. Elaboración propia a partir de (CES EduPack, 2013).

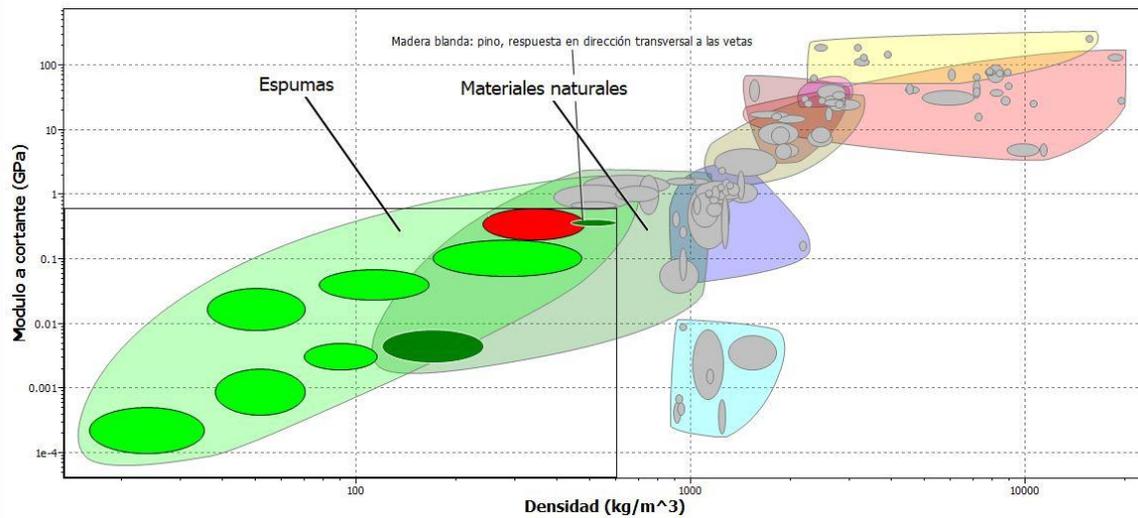


Figura 72: Comparación con materiales similares según MOR. Elaboración propia a partir de (CES EduPack, 2013).

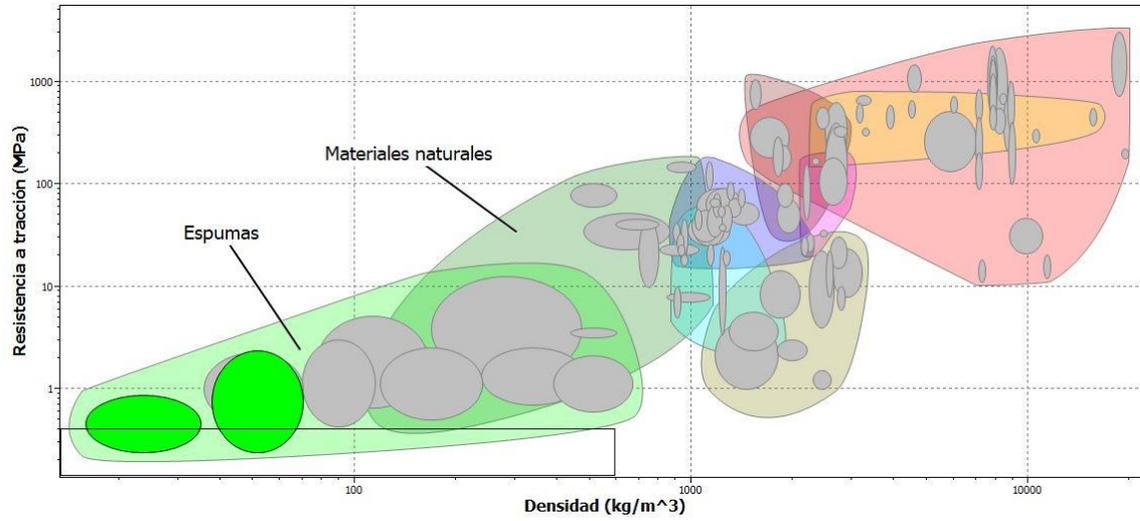


Figura 73: Comparación con materiales similares según tracción. Elaboración propia a partir de (CES EduPack, 2013).

2.1.2 Exploración de nuevas formas del material mediante moldes.

Los resultados obtenidos de la exploración de moldes de forma contra forma fueron variables según el tipo de molde. Los criterios evaluados fue su desmoldaje, la compactación de la mezcla y el acabado superficial.

- La muestra resultante del molde semiesférico no tuvo los resultados esperados en la compactación total de la mezcla. Esto se debe a que en el proceso de prensado la fuerza ejercida es hacia abajo, dejando compactada únicamente la parte honda de la concavidad y a las otras áreas sin presión.
- La muestra resultante del molde cilíndrico tuvo resultados positivos en todos los factores evaluados: el desmoldaje, la compactación de la mezcla, el

acabado superficial y rigidez.

- La muestra resultante del molde con doble curva tuvo excelentes resultados en el desmoldaje y en la compactación de la mezcla, aunque comparada con el resultado anterior, está en desventaja por su acabado superficial.

En conclusión, la fabricación de piezas en moldes de forma contra forma son excelentes para volúmenes que contengan al menos una cara recta, la que servirá de base del molde. Sin embargo, para obtener una pieza semiesférica, se requerirá de otro tipo de molde u otro tipo de proporción de la mezcla.



Figura 74: Resultado molde de doble curva. Elaboración propia.



Figura 75: Resultado molde cilíndrico. Elaboración propia.



Figura 76: Resultado de molde semiesférico. Elaboración propia.

2.1.3 Mecanizado: corte láser y Router CNC.

La muestra sometida a Router CNC (figura 77), se obtuvo resultados favorables para la fresa de debaste usada ($\varnothing 3$ mm) donde no hubo desprendimiento de partículas ni daños en la muestra. Por otro lado, la fresa que entregó un acabado más fino a la superficie ($\varnothing 1$ mm), desmenuzó la muestra, dejando pequeños poros. Aun así, esto último se torna irrelevante pues de todas formas la pieza requiere un proceso de lijado posterior.

En el caso de las muestras de espesor 7 y 9 mm, también se obtuvo resultados favorables (figura 78). El corte láser y el grabado lineal se desarrolló sin problemas en ambas muestras. El grabado con relleno, tuvo que aumentar su potencia para lograr una mejor terminación.

De esta forma se demuestra la capacidad de mecanizado ambas máquinas.

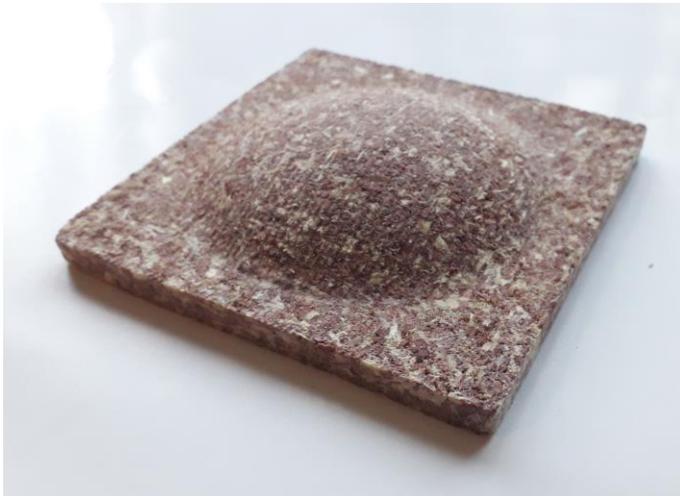


Figura 77: Resultado de muestra en Router CNC.
Elaboración propia.



Figura 78 Resultado de muestra en corte láser.
Elaboración propia.

2.2 Evaluación de propiedades perceptuales.

2.2.1 Diferencial semántico

Los resultados de la encuesta de diferencial semántico acerca de una muestra del material compuesto, realizada a los 3 grupos objetivos tuvo los siguientes resultados (cada valor significa la cantidad de veces que se votó por dicha opción).

Tabla 25: Resultados de diferencial semántico.

| | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|--------------|----|----|---|---|---|---|----|--------------|
| SUAVE | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 1 | ÁSPERO |
| CÁLIDO | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | | 1 | FRÍO |
| BLANDO | 2 | 1 | 5 | 4 | 3 | 1 | 6 | DURO |
| LIVIANO | 4 | 5 | 6 | 2 | 2 | 1 | 2 | PESADO |
| BRILLANTE | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 2 | 9 | MATE |
| NATURAL | 2 | 5 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | ARTIFICIAL |
| ANTIGUO | 1 | 4 | 1 | 8 | 3 | 1 | 4 | MODERNO |
| ELEGANTE | 2 | 3 | 9 | 1 | 4 | 3 | | VULGAR |
| LUJOSO | 1 | 1 | 6 | 4 | 2 | 4 | 4 | HUMILDE |
| COSTOSO | | 2 | 5 | 5 | 1 | 5 | 4 | BARATO |
| BAJA CALIDAD | | 3 | 3 | 4 | 8 | | 4 | ALTA CALIDAD |
| RESISTENTE | 7 | 8 | 4 | 1 | 1 | 1 | | FRÁGIL |
| FLEXIBLE | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 10 | RÍGIDO |
| AGRADABLE | 10 | 6 | 4 | 1 | 1 | | | DESAGRADABLE |
| DURADERO | 3 | 4 | 7 | 4 | | 1 | 3 | TEMPORAL |
| CONVENCIONAL | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 6 | INNOVADOR |
| ABURRIDO | 1 | | 1 | 2 | 8 | 2 | 8 | INTERESANTE |
| RARO | 4 | 8 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | COMÚN |
| BRUTO | | 1 | 4 | 2 | 4 | 1 | 10 | PROCESADO |
| LIMPIO | 7 | 5 | 2 | 5 | 2 | 1 | | SUCIO |
| BELLO | 3 | 6 | 7 | 3 | 1 | 1 | 1 | FEO |
| SUSTENTABLE | 8 | 11 | 1 | | 2 | | | INSOSTENIBLE |

Fuente: Elaboración propia.

La tabla refleja los atributos con mayor valoración y que marcan una tendencia son “rígido”, “agradable”, “procesado” y “sustentable”.

Entre estos atributos se seleccionó 1 que fue considerado para la conceptualización de la potencial aplicación del material compuesto desarrollado.

Los atributos que más se repiten en el grupo de los diseñadores fueron: “procesado”, “rígido” y “mate”. En el grupo de los consumidores conscientes los atributos más reiterados son “resistente”, “agradable”, “sustentable” y “natural”. En el grupo de personas que interactúan con niños entre 2 y 5 años, los atributos más valorados son “agradable”, “sustentable”, “limpio” y “rígido”.

3. Diseño de una potencial aplicación del material compuesto

3.1 Propuestas de aplicaciones del material: Matriz de Pugh)

Mediante la evaluación de la matriz de Pugh (ver anexo) se seleccionó la aplicación más adecuada en relación a las propiedades del material. Las áreas que se consideraron y fueron evaluadas fueron: Mobiliario de interior, productos de interior, revestimiento, productos de exterior, iluminación, cocina, área infantil y otros. Mientras que las variables evaluadas fueron la trabajabilidad (corte, perforado, lijado), los ensayos mecánicos, los ensayos físicos, y características perceptuales.

Los productos mejor evaluados están en la siguiente tabla:

Tabla 26: Resumen de resultados matriz de Pugh

| ÁREA | PRODUCTO | PUNTAJE |
|----------|---------------------|---------|
| INFANTIL | JUGUETES | 11 pts |
| OTROS | TABLA DE SURF | 10 pts |
| INFANTIL | MOVILIARI O INFANIL | 9 pts |

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Diseño de una aplicación del material compuesto basado en viruta de pino y raulí.

3.2.1 Aplicación seleccionada

La aplicación seleccionada se obtuvo de los resultados de la matriz de Pugh, **definiendo un juguete infantil como una potencial aplicación del material compuesto en base a viruta de madera.**

Algunas de las características que definieron este resultado fue su biodegradabilidad, pensando en el uso temporal del producto, además de su flotabilidad (característica obtenida en el ensayo de absorción y exposición a químicos) como posible aplicación en un juego, además de su capacidad de ser producido por moldes.

Para definir el tipo de juego infantil, se realizó una conceptualización, se definió al usuario y el contexto en que se desarrolla el juego y un moodboard. Con estos métodos presentados a continuación, fue posible desarrollar una propuesta morfológica del juego.

Elección del contexto y el usuario del producto

Considerando ocupar la mayor cantidad de residuo en el producto, para evitar su eliminación en vertederos y, por otra parte, facilitar el almacenamiento del producto, se establece que el contexto adecuado es en **establecimientos educacionales**.

Según el gobierno de Chile (2020) definen las actividades que los niños pueden realizar según rango etario. Lse destaca que los niños entre 2 y 3 años pueden arrastrar juguetes mientras caminan, cargar más de un juguete, distinguir formas. Los niños entre 3 y 4 años, pueden construir torres de más de 6 bloques, enroscar y desenroscar tapas, hacer juegos simbólicos, tomar turnos para jugar y completas rompecabezas.

Estas actividades fueron determinantes para la selección del juguete que se quiso realizar.

Por otro lado, se establece la altura de los niños.

- **Altura niñas a los 2 años: 86 cm**
- **Altura niñas a los 5 años: 109 cm**

- **Altura niños a los 2 años: 87 cm**
- **Altura niños a los 5 años: 110 cm**

*Percentil 50
Fuente: OMS



Figura 79: Concepto de la aplicación seleccionada. Elaboración propia.

3.2.2 Conceptualización

La aplicación seleccionada pasó por un proceso de conceptualización y definición del usuario del producto. **Este proceso se basó en el cruce de información de los resultados de la encuesta de diferencial semántico y los resultados de la Matriz de Pugh.**

Los resultados de la encuesta de diferencial semántico destacaron las características del nuevo material más reconocidas por el público encuestado. Entre ellas, es valorada la característica de “rígido” y “sustentable”.

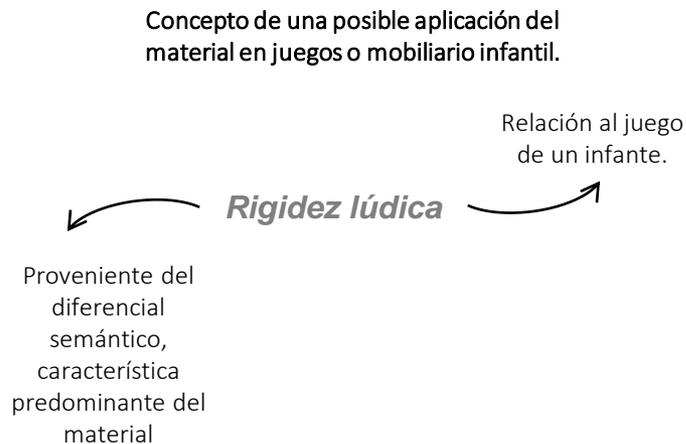


Figura 80: Concepto de la aplicación seleccionada. Elaboración propia.

La valoración de la encuesta y del método descrito fueron determinantes para la identidad del material compuesto elaborado, es por esto que el concepto es el de “**Rigidez lúdica**” (ver figura 54).

El concepto usa el juego de palabras y su posible oposición en su concepción, mostrando la capacidad del material para ser aplicado en un contexto dinámico y creativo, a pesar de su inflexibilidad y dureza.

3.2.3 Mapa de reconocimiento de conceptos en productos similares.

Para identificar el tipo de juegos infantiles que se enmarcan dentro de este concepto, se elaboró un mapa que sitúa a los conceptos según su rigidez y dinamismo, comparando también los atributos opuestos como monótono y flexible. En el mapa se disponen distintos juguetes para niños entre 2 y 5 años, los que fueron evaluados por su materialidad y por la capacidad de exploración y creación en el juego.

Rigidez lúdica

Mediante el mapa fue posible esclarecer el significado del concepto de “*Rigidez lúdica*”, definiéndolo como un conjunto de piezas de un material duro, atractivo en su apariencia o función, que invita a la entretención mediante la exploración y creación.

El mapa de reconocimiento de conceptos se muestra a continuación:

Mapa de reconocimiento de conceptos en productos similares

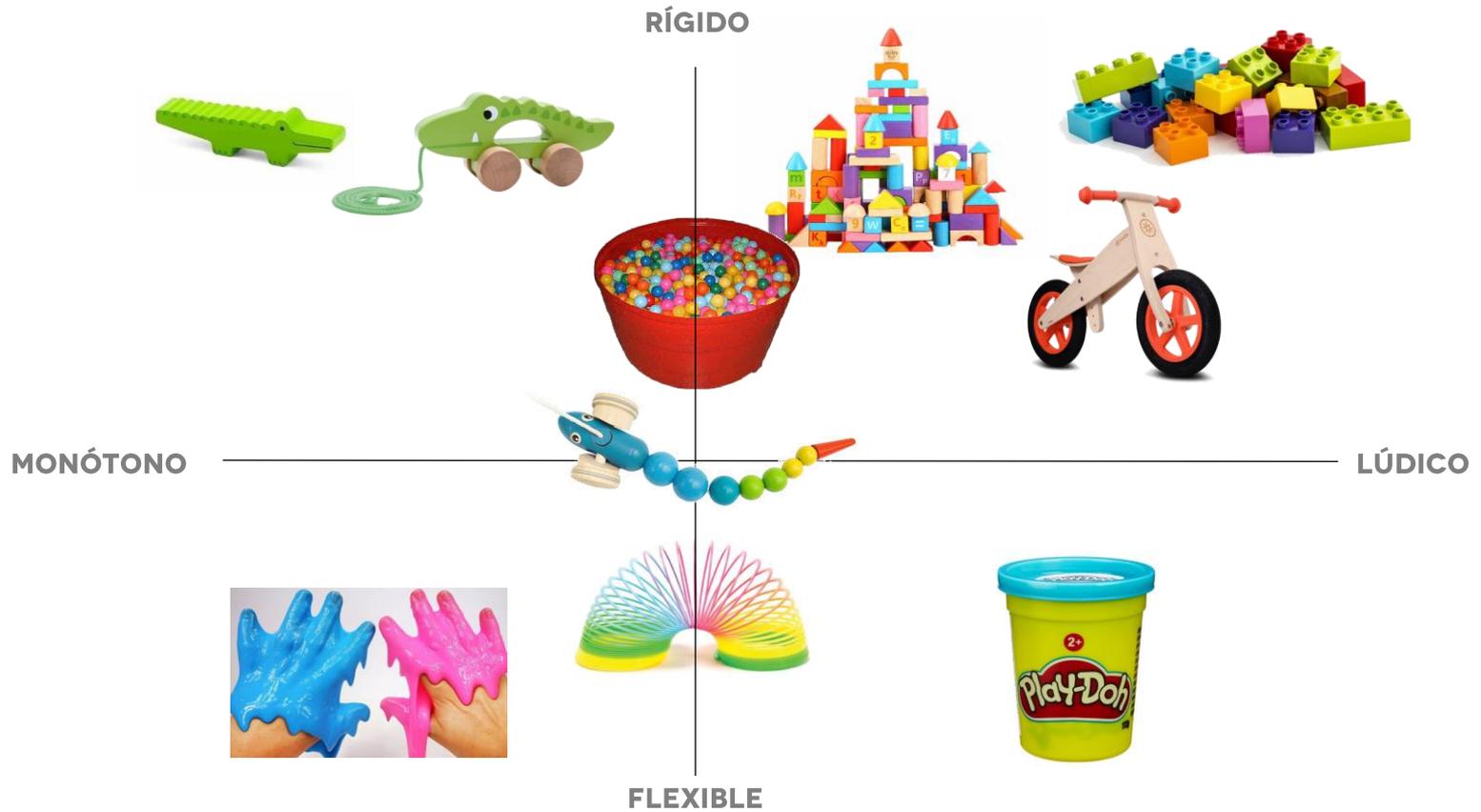


Figura 81: Mapa de reconocimiento de conceptos en juguetes infantiles. Elaboración propia.

3.2.4 Moodboard del concepto *Rígido-Lúdico*



Figura 82: Moodboard del concepto. Elaboración propia.

Análisis del moodboard del concepto

Mediante el moodboard, se analizaron las formas y atributos para la elaboración de la aplicación en el juego infantil fabricado con el material compuesto. Se presentan objetos, materiales, construcciones y referentes de juegos presentes en diferentes contextos.

En algunos casos se contempla el atributo de “rigidez” y “lúdico” por sí solo, mientras que otros, se aplica el complemento de “rígido-lúdico”. Este último es el caso del trabajo de Cas Holman, diseñador industrial estadounidense, quien diseña juegos infantiles que buscan promover la creatividad y la exploración de los niños. Los proyectos (figura 57) son visualmente “pesados” y monocromáticos, sin embargo logran su objetivo, siendo utilizados centros educacionales de otros países.

Las imágenes presentes en el moodboard muestran la capacidad de que estructuras rígidas, de morfología sencilla y aparentemente monótonas, adoptan dinamismo si su función está ligada a explorar, jugar o crear.

Otro caso similar ocurre con los reconocidos bloques de Lego. En este caso incentivan su atractivo mediante el uso del colores, además del conjunto de piezas que posibilitan el juego.



Figura 83: Diseño de juguetes por Cas Holman (Holman, 2011)

3.2.5 Definición de la morfología del producto

Establecido el usuario, su rango etario, el contexto donde se ocupará el producto y teniendo en consideración las características del material, se define el producto y su morfología.

Se recoge del moodboard una estructura rígida sin dinamismo que, mediante el juego se desarrolle el concepto de “rigidez lúdica”. La estructura rígida escogida es un **arco romano**, ya que según la revisión de literatura, la capacidad de construir, cargar y apilar bloques se ajustan al usuario establecido.

Se considera también maximizar el uso de viruta para evitar su eliminación en vertederos, por lo que se diseña un juego que tenga mayores dimensiones, de la altura del usuario, con bajo peso para su manipulación y fácil de almacenar. El juego del arco romano está diseñado para su uso compartido en recintos escolares.

Bocetos

Para obtener un primer acercamiento al diseño de la aplicación seleccionada, se comenzó con bocetos de la propuesta. Este proceso permitió definir a grandes rasgos la morfología, su volumen y el ensamblaje de las piezas. En la figura se recoge las principales etapas del proceso de bocetos.

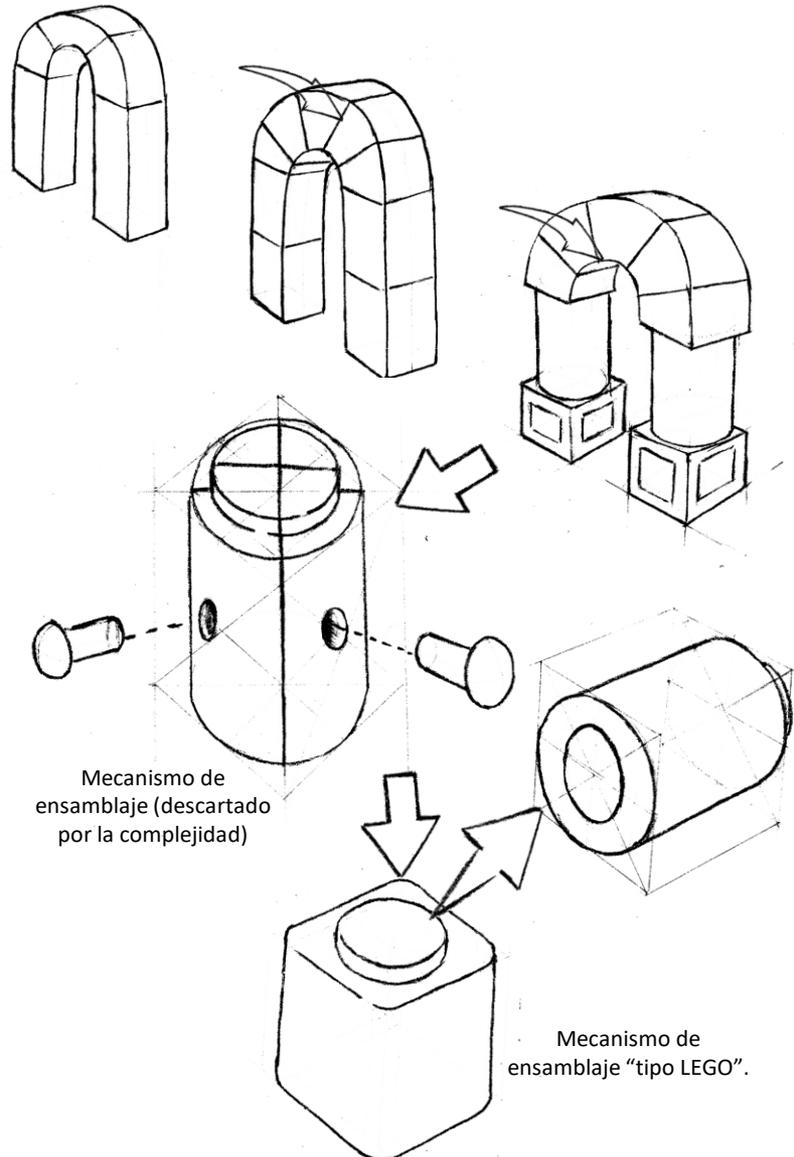


Figura 84: Bocetos. Elaboración propia

Modelado 3D

Definido el volumen, el tipo de ensamblaje y consideraciones sobre sus dimensiones en los bocetos, se realizaron modelados 3D para precisar la cantidad de piezas requeridas, la factibilidad del ensamblaje considerando el tipo de moldes a fabricar, además de maximizar el uso del residuo de viruta evitando su eliminación en vertederos.

En una etapa inicial se consideró fabricar numerosas piezas para diversificar las posibilidades de ensamblaje. Sin embargo, esto aumentaba la dificultad de los moldes (propuesta 1).

Posteriormente, se redujo la cantidad de piezas, considerando también facilitar el almacenamiento de las piezas (propuesta 2). Debido al gran peso, la numerosa cantidad de moldes necesarios y la permanente complejidad de los moldes, se realizó una tercera y última iteración. Esta propuesta (propuesta 3) facilita el molde de las piezas, considera los resultados de la exploración de moldeo cilíndrico y reduce el peso de las piezas.

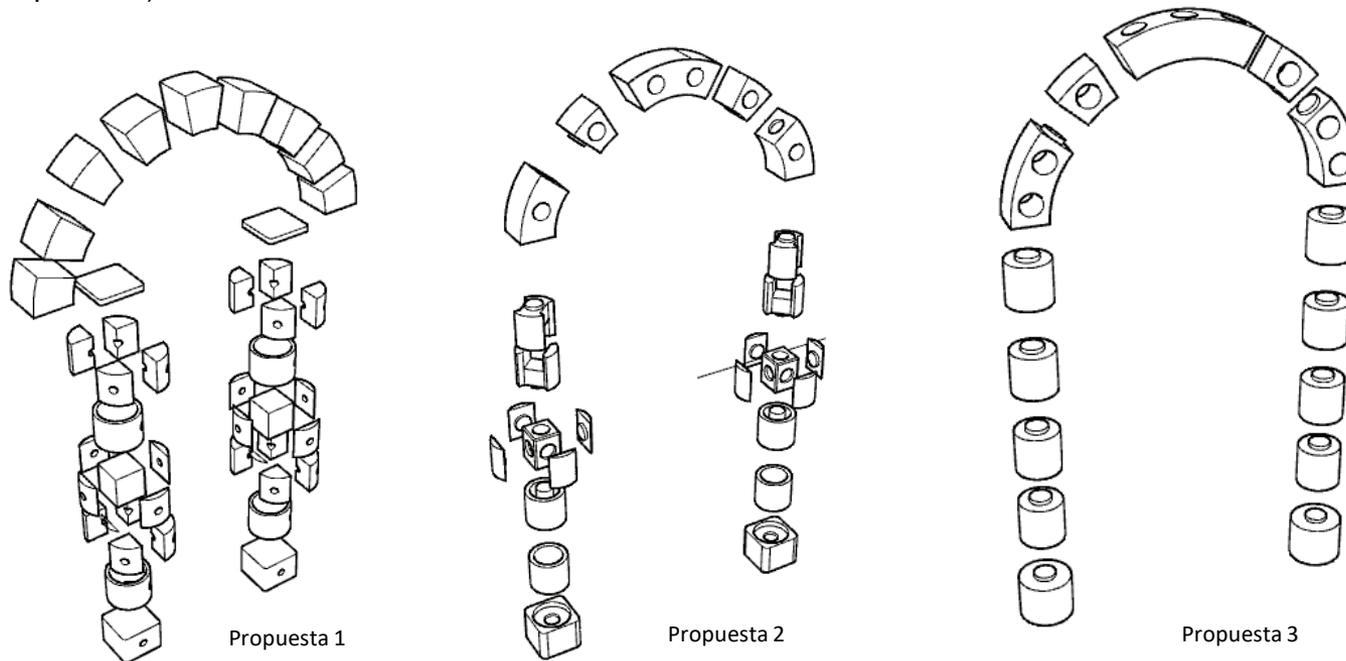


Figura 85: Modelado 3D de propuesta. Elaboración propia

Cálculo de volumen y masa, en consideración del usuario.

Se hizo el cálculo de la masa y volumen de cada pieza, además del total del producto. En total el volumen es de 10.458,4 cm³, la masa es de 6,3 kg y usa un total de 15 piezas.

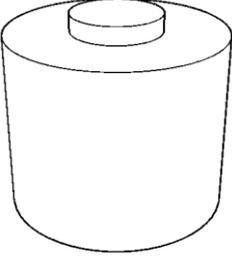
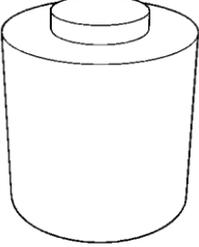
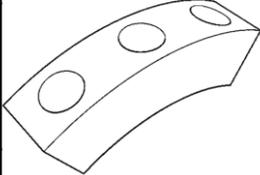
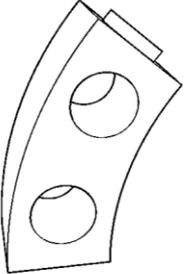
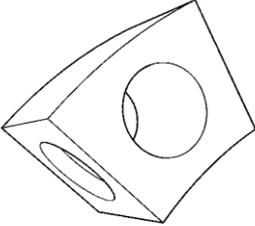
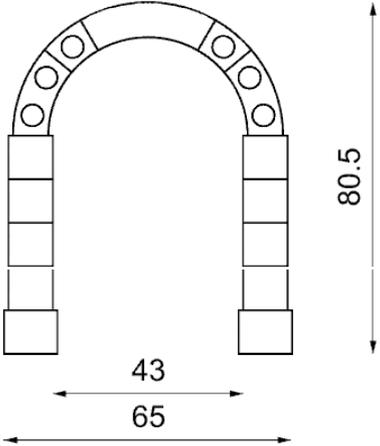
| FICHA DESCRIPTIVA DE PIEZAS | | | | | | | | |
|--|---|-----------------|--|---|-----------------|--|--|---------------------|
| PIEZA | DESCRIPCIÓN | | PIEZA | DESCRIPCIÓN | | PIEZA | DESCRIPCIÓN | |
|  | Medidas generales 12 x 12 x 11 cm | |  | Medidas generales 10 X 10 X 11 cm | |  | Medidas generales 30,5 x 11 x 8 cm | |
| | Volume n 939,4 cm ³ | Masa 563,6 g | | Volume n 609,2 cm ³ | Masa 365,5 g | | Volume n 1251,6 cm ³ | Masa 750,96 g |
| | Cantidad 2 | | | Cantidad 8 | | | Cantidad 1 | |
|  | Medidas generales 21,5 X 8 x 8 cm | |  | Medidas generales 10,5 X 8 x 8 cm | |  | | |
| | Volume n 830,6 cm ³ | Masa 498,4 g | | Volume n 396,6 cm ³ | Masa 238 g | | | |
| | Cantidad 2 | | | Cantidad 2 | | | | |

Tabla 27: Cálculo de volumen y masa del producto diseñado

Exploración de moldes

Se consideró la elaboración de 2 tipos de moldes a escala. Uno corresponde a los pilares y el segundo al arco del juego. Esta exploración permitió probar el ensamblaje, las dimensiones y la factibilidad del molde.

Aunque el molde correspondiente al arco presenta mayores dificultades de fabricación, se obtuvo resultados positivos en el desmoldaje, el acabado de la muestra y la cohesión de la mezcla.



Figura 86:
Experimentación de
moldes. Elaboración
propia.



Figura 87: Desarrollo morfológico de la propuesta. Elaboración propia

3.2.6 Render de uso



Figura 88: Render en uso. Elaboración propia.

3.2.7 Opción del fin de vida del material

Una vez que el juego comience a deteriorarse, se propone un fin de vida para el producto diseñado. Se propone utilizar las piezas del arco romano como pequeños maceteros para germinar semillas, dispuestos en la intemperie hasta su degradación. Esto se puede implementar con el fin de incentivar el cuidado del medioambiente entre los niños del recinto educacional



Figura 89: Opción del fin de vida del material. Elaboración propia

3.2.8 Ciclo de vida y cadena de actores de la aplicación

La investigación describe las etapas del ciclo de vida de la viruta de madera de pino y raulí, desde su origen como árbol de los bosques chilenos, hasta su biodegradación como el sustrato de un material compuesto aplicado en un juego infantil.

El siguiente diagrama grafica el ciclo de vida circular del residuo tipo viruta de madera, junto con la cadena de actores necesarios en cada etapa. Entre la cadena de actores se encuentran los aserraderos (A), los torneros (T), el Caso de estudio (C.E.) y el recinto educacional encargado de proteger el fin de vida del producto (R.E.)

El caso de estudio se trata de Nueve Design Studio, un estudio de diseño industrial chileno dedicado a proyectos y productos de interiorismo, quienes afirman estar interesados en explorar el material para elaborar otras aplicaciones que consideren su compostaje o biodegradabilidad.

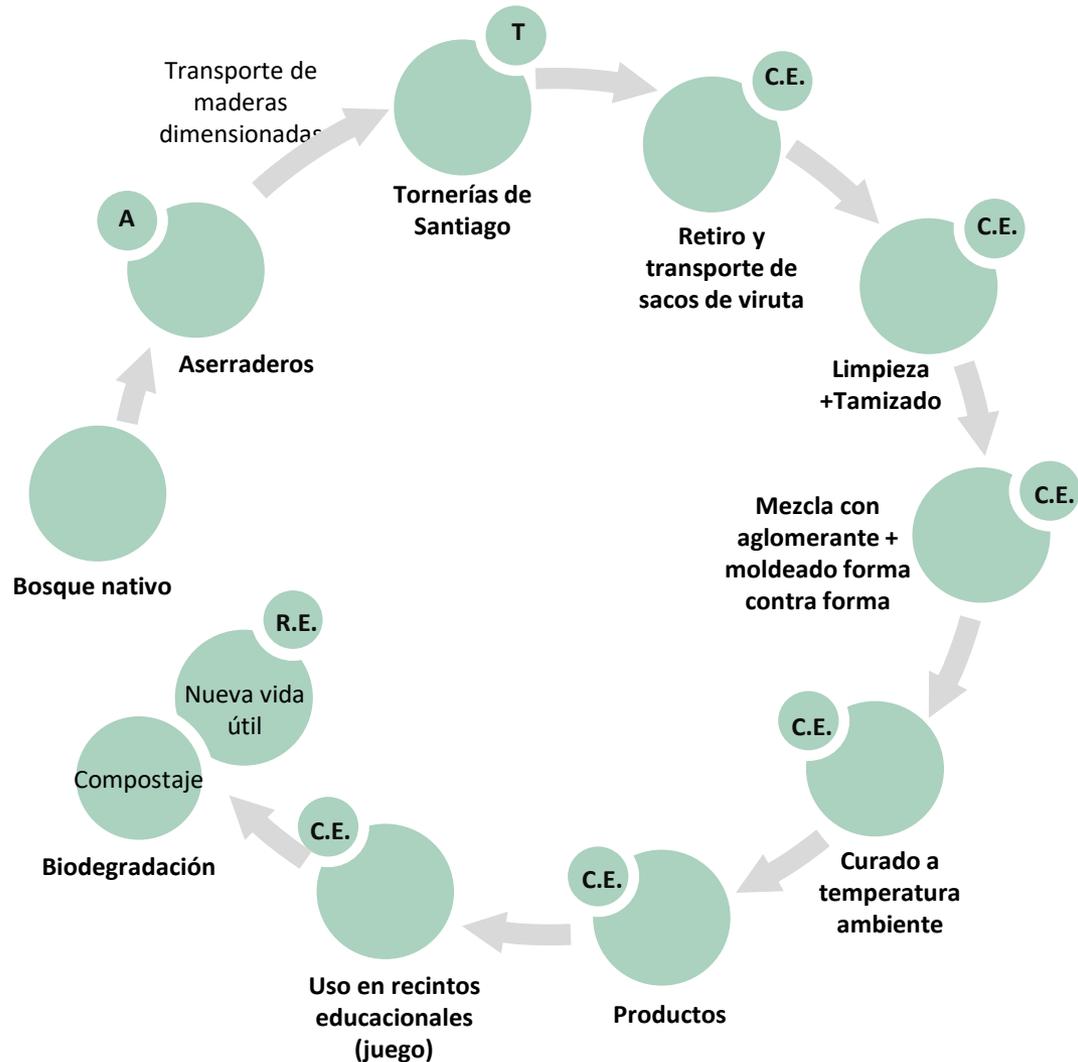


Figura 90: Ciclo de vida y cadena de actores. Elaboración propia

CONCLUSIÓN Y PROYECCIONES

La investigación tuvo como objetivo *revalorizar el residuo de viruta generado por tornerías del barrio Matta en Santiago de Chile, mediante la generación de un material compuesto y el diseño de su potencial aplicación que extienda la vida útil del residuo y evite el impacto ambiental que causa su eliminación*. Dicho objetivo general se logró mediante sus objetivos específicos y etapas de la investigación.

El primer objetivo específico consistió en *generar un estudio del residuo de madera producido en tornerías y los posibles aglomerantes sujetos a criterios de sustentabilidad, para desarrollar el nuevo material compuesto*. Este objetivo fue logrado en su totalidad, permitiendo levantar información sobre la cantidad del residuo generado y definiendo los criterios de sustentabilidad aplicados en cada una de sus etapas de vida. Un punto importante de esta etapa es la selección de la bio espuma como aglomerante mejor evaluado.

En relación a los criterios de sustentabilidad, el material compuesto basado en viruta de las especies *Nothofagus alpina* y *Pinus radiata* no es tóxico, utiliza materia prima local reutilizando residuos para entregarles una nueva vida útil, optimiza los recursos de forma eficiente y considera un ciclo de vida circular mediante su biodegradabilidad.

El segundo objetivo específico fue *desarrollar el material compuesto basado en el residuo de madera identificado, mediante la exploración y evaluación de*

aglomerantes y definiendo la proporción de la mezcla. Esta etapa exploratoria permitió la definición de la relación entre sustrato y adhesivo, estableciendo 50% para ambos componentes.

El tercer objetivo quiso *caracterizar el material a través de la evaluación y análisis de sus propiedades físico-mecánicas, su resistencia a agentes externos, su trabajabilidad y métodos de conformado*. Esta etapa ayudó a establecer las propiedades del material, comparar sus similitudes con otros materiales y evaluarlo mediante una encuesta de percepción.

Como último objetivo, se propuso *diseñar una potencial aplicación del material compuesto conforme a su caracterización, definiendo un ciclo de vida que extienda la vida útil del residuo, para su validación*. Finalmente se propuso una aplicación del material, destinada al área de juguetes infantiles, conforme a su caracterización. Además se definió la cadena de actores desde el origen de la materia prima hasta su degradabilidad en la aplicación seleccionada.

El material compuesto en base a viruta de pino y raulí desarrollado por esta investigación resultó tener buena resistencia a la humedad, ligereza, excelente trabajabilidad, buen desarrollo en el uso de moldes de forma contra forma, así como una buena resistencia en el mecanizado por tecnologías más complejas. Otra característica primordial es su capacidad de biodegradación, lo que permita diseñar otras

aplicaciones considerando un ciclo de vida circular.

En cuanto a las proyecciones de la investigación, se recomienda el desarrollo de otras técnicas de conformado, distintas a los moldes de forma contra forma, como por ejemplo, el método de inyección del material. Además se sugiere explorar la posibilidad de fabricar el aglomerante de bioespuma de forma local, facilitando la elaboración del material y optimizando los recursos para el ahorro energético en los procesos.

Otra exploración posible para una futura investigación, es el teñido del material para incorporarlo en el diseño de aplicaciones. Se debe considerar que esta exploración debe estar sujeta a los criterios de sustentabilidad.

LISTA DE REFERENCIAS

- ALLEN, J. (29 de octubre de 2009). *Materials: A continuing journey. Curve*, 56-59.
- AENOR 1994a. UNE-EN 323:1994 -Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid, España.: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- AENOR 1994b. UNE-EN 317:1994 - Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. Madrid, España. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- AENOR 1994c. UNE-EN 310:1994 - Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid, España. Asociación Española de Normalización y Certificación
- AENOR 1994d. UNE-EN 319:1994 - Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid, España. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- ARINNI ESTUDIO. (20 de junio de 2019). *Diseño con tablero OSB*. Obtenido de: <https://arinni.es/disenio-con-tablero-osb/>
- ARQUITECTURA PURA. (2019). El Coliseo y sus imponentes Arcadas. [Figura]. Obtenido de: <https://www.arquitecturapura.com/arco-romano/>
- ARTEHISTORIA. (2017). Arco de Triunfo de Medinaceli. [Figura]. Obtenido de: <https://www.artehistoria.com/es/monumento/arco-de-triunfo-de-medinaceli>
- AROS, M., NARVÁEZ, G., & AROS, N. (2009). El diferencial semántico para la disciplina del diseño una herramienta para la evaluación de productos. *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 1679-1690. Badajoz.
- ASHBY, M., & JOHNSON, K. (2002). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Elsevier.
- ASKELAND, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores.
- ASTM (2017). *D1666-17, métodos de prueba estándar para realizar pruebas de mecanizado de madera y materiales de paneles de madera*. West Conshohocken, PA.
- BALBOA, C. H. & SOMONTE, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO- 3. *Informador Técnico*, 78, 82-90.

- BAILLIE, C. (2004). *Why green composites. Green Composites-Polymer Composites and the Environment*. Cambridge, 1-8.
- BANCO MUNDIAL. (2018). *Los desechos 2.0: un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050*. Obtenido de: <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/what-awaste-20-a-global-snapshot-of-solidwaste-management-to-2050>.
- BBC. (2018). La gigantesca reserva de 10.000 billones de toneladas de diamantes hallada bajo la superficie de la Tierra (y qué tan factible es extraerlos). [Figura]. Obtenido de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44946602>
- BONELLS, J. (2006). Anatomía de un árbol. [Figura]. Obtenido de Jardines sin Fronteras: <https://jardinessinfronteras.com/2016/10/22/279/>
- BUILDING SOLUTIONS. *Tablero para aplicaciones diversas, pensado para tabiquería e interiores de construcciones, ampliaciones menores de viviendas y todo tipo de uso en revestimiento y soportes complementarios a cualquier tipo de muro*. Obtenido de: https://lpchile.cl/producto/lp-osb-home-2/?gclid=EAIaIQobChMI8MS_vbW98QIVkg2RC h32RQSDEAAYASAAEgK5__D_BwE
- BUTT, M. A., CHUGHTAI, A., AHMAD, J., AHMAD, R., MAJEED, U. & KHAN, I. (2008). Theory of adhesion and its practical implications. *Journal of Faculty of Engineering & Technology*, 21-45.
- CALVO F., & ISAC, J. (2013). Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato.
- CAPUZ, S., & GOMEZ, T. (2004). *Ecodiseño, ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Universidad Técnica de Valencia.
- CARAMBA. (2021). Juguetes inteligentes: espiral de arcoiris. [Figura]. Obtenido de: <https://caramba.cl/products/espiral-de-arcoiris>
- CARRASCO VENEGAS, E. (2012). *Estudio descriptivo de los tableros OSB (Oriented Strand Board) y su repercusión en el sector forestal chileno*. Universidad de la Frontera.
- CAS HOLMAN. (s. f). Imagination Playground. [Figura]. Obtenido de: <https://casholman.com/projects#/imagination/>
- CAS HOLMAN. (s. f). Rigamajig. [Figura]. Obtenido de: <https://casholman.com/projects#/rigamajig/>
- CERVANTES, G. (2013). El concepto de ecología industrial. *La ecología industrial en México*, 1era ed., pp. 333.

- CERVANTES, G., SOSA, R., RODRÍGUEZ, G. & ROBLES, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 63-70.
- CHILEBOSQUE. (2016). Ficha de descripción de Persea lingue. Obtenido de Chilebosque: <http://www.chilebosque.cl>
- CLARO NETO, S. (1997). Physical-chemical characterizations of a castor oil derived polyurethane used on bone implants. PhD, São Carlos Institute of Chemistry, University of São Paulo.
- CEPAL & OCDE. (2016). Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016, Santiago.
- COLUMBIA FOREST PRODUCTS (2008). Formaldehyde-Free. Obtenido de PureBond Harwood Plywood. <https://arinni.es/disenio-contablero-osb/>
- CONAF. (2013). Productos primarios del bosque nativo que requieren guía de libre tránsito. Obtenido de: http://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2013/02/Res_134-OC.pdf.
- CONAF. (2017). Bosques en Chile. Obtenido de: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/>
- CORMA. (2018). Sustentabilidad ambiental. Obtenido de: <https://www.corma.cl/medioambiente/sustentabilidad-ambiental/>
- COTAN. (2018). Modular colores básicos. [Figura]. Obtenido de: <https://cotan.cl/producto/modular-colores-basicos/>
- DE ARKITEKTURA. (2011). Materiales para la construcción: ladrillos. [Figura]. Obtenido de: <http://dearkitektura.blogspot.com/2011/02/materiales-para-la-construccion.html>
- DÍAZ-VAZ, J. (1979). Claves para la identificación de maderas de árboles nativos y cultivados en Chile. Bosque, vol. 3, 15-25.
- DIAZ-VAZ, J., ANANÍAS, R. A., RODRÍGUEZ, S., TORRES, M., FERNANDEZ, A. & POBLETE, H. (2009). Compression wood in Pinus radiata II: Density and chemical composition. Maderas: ciencia y tecnología, vol. 11, 139-151.
- DRUMRIGHT, R. E., GRUBER, P. R. & HENTON, D. E. (2000). Polylactic acid technology. Advanced Materials, vol. 12, 1841-1846.
- ECONOTAS. (18 de junio de 2019). Sillas de Aserrín y Resina, Muebles Ecoresponsables. Obtenido de: "<http://www.econotas.com/2012/10/sillas-de-aserrin-y-resina-muebles.html>" <http://www.econotas.com/2012/10/sillas-de-aserrin-y-resina-muebles.html>
- EDUCACION SNAPSHOTS. (2019) EcoKid Kindergarten. [Figura]. Obtenido de: <https://educationsnapshots.com/projects/11027/ecokid-kindergarten/>

- EL COMERCIO. (2014). Puente ondulado en China que desafiará a la lógica. [Figura]. Obtenido de: <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/puente-ondulado-china-que-desafiara.html>
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (s. f.). Descubra la economía circular. Obtenido de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explora>
- FINDLAY, W. (1985). The nature and durability of wood. Preservation of timber in the tropics. Springer, 1-13
- FLORES, L. (2016). Estudio del comportamiento de adhesivos sintéticos y de sus propiedades fisicoquímicas aplicados sobre soporte lúneo. [Máster de Conservación y Restauración de Bienes Culturales] Universidad Politécnica de Valencia.
- FRAUNHOFER (28 de abril de 2015). Materiales de espuma derivados de la madera. Obtenido de Fraunhofer: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2015/april/wood-derived-foam-materials.html>
- FRIHART, CR (2005). *Adhesión y adhesivos de madera* (págs. 215-278). CRC Press, Boca Raton, FL.
- FROSCHE, R. A. (1992). Industrial ecology: a philosophical introduction. Proceedings of the national academy of sciences, vol. 89, 800-803.
- FUNDACIÓN BASURA. (30 de junio de 2019). Residuos Orgánicos: Gestión de residuos orgánicos en rellenos sanitarios y cambio climático. Obtenido de: <https://www.fundacionbasura.org/gestin-de-residuos-orgnicos-en-rellenos-sanitarios-y-cambio-climtico/>
- FUNDACIÓN HUINAY. (2014). Árboles nativos de Chile. Chile: Enersis.
- GIMÉNEZ, A., MOGLIA, J., HERNÁNDEZ, P. & GEREZ, R. (2005). Anatomía de madera. [Figura]. 8,7.
- GYSLING, J., & SOTO, D. (2016). Industria Forestal Primaria en Chile (Periodo 2005-2015).
- HITA, C. (10 de julio de 2019). El ingenioso upcycling transforma desechos de madera en atractivos taburetes con diseños exclusivos. Obtenido de: <https://decoracion.tendencias.com/artistico/el-ingenioso-upcycling-transforma-desechos-de-madera-en-atractivos-taburetes-con-disenos-exclusivos>.
- HOFFMANN, A. (2005). Flora Silvestre de Chile, zona araucana, árboles, arbustos y enredaderas leñosas. Santiago: Fundación Claudio Gay.
- INFOR. (2018). La industria del aserrío del bosque nativo 2018. Bosque Nativo, 3-7.
- KEHL. 2006. KEHL® Indústria e Comércio LTDA. San Carlos, Brasil. Obtenido de: <http://www.kehl.ind.br/poliuretanos.php?opcao>

- KEHL. 2007. KEHL® Indústria e Comércio LTDA [Online]. San Carlos, Brazil. Available: <http://www.kehl.ind.br/index.php> 2009].
- JUGUETES TOCATOCA. (s. f). Piedras equilibrio Montessori. [Figura]. Obtenido de: <https://www.juguetestocatoca.com/pedagogia-montessori/piedras-equilibrio-montessori>
- LA CARPINTERÍA. (s. f). Arrastra la serpiente. [Figura]. Obtenido de: <https://www.lacarpinteria.cl/arrastra-la-serpiente>
- LA TERCERA. (2018). Fantasilandia: los 7 juegos que sí o sí debes conocer. [Figura]. Obtenido de: <https://finde.latercera.com/cultura-pop/fantasilandia-parque-ohiggins-2018/>
- LEGO. (s. f). My first race car. [Figura]. Obtenido de: https://www.tiendalego.cl/?gclid=CjwKCAjwoZW HBhBgEiwAiMN66Xx5e1yDTzj1Ch9bR-rXAEPDK-EXBG09QuqzxHqwJVJ9QfsLdYBBoC_EIQAvD_BwE
- LEY N°20.920. “Marco legal para la gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje”. Ministerio del Medio Ambiente. Promulgada el 17 de mayo de 2016.
- LIPPKE, B. & EDMONDS, L. (2009). *Informe de investigación de la fase II de CORRIM: Oportunidades de mejora ambiental para diseños alternativos de paredes y pisos.*
- LÖBACH, B. (1981). *Diseño industrial*, 52-62. Gustavo Gili.
- MADERA 21. (septiembre de 2019). *Conoce los 4 adhesivos más comunes para la madera estructural.* Obtenido de: <https://www.madera21.cl/conoce-los-4-adhesivos-mas-comunes-para-la-madera-estructural>
- MADERA NACIONAL. (2020). *Pino insigne.* Obtenido de: <https://www.madereranacional.cl/productos/maderas-nativas-nacionales-cepilladas-calibradas/pino-insigne/>
- MADERAS SANTANA. (20 de junio de 2019). *Características de los tableros o madera MDF.* Obtenido de: <https://www.maderassantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>
- MARTEL, J. & PACHECO, R. (2018). *EntreNiebla: experimentación de material compuesto, basado en los desechos del mimbre.* RChD: creación y pensamiento, 3.
- MASLOW, A. H. (1943). A theory of Human Motivation. *Psychological Review.*
- MUÑOZ-PEDREROS, A., GANTZ, A., & SAAVEDRA, M. (1996). Nidos artificiales en plantaciones de *Pinus radiata* en el sur de Chile: una herramienta para mitigar impactos ambientales negativos. *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 69, 393-400.

- MUÑOZ, L. (2019). Valorización del carozo de durazno para el desarrollo de un material compuesto sostenible y su potencial aplicación.
- ONU. (1987). *Nuestro futuro común: Informe Brundtland*. Obtenido de Organización de Naciones Unidas: HYPERLINK "<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>" <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- ONU. 2015. *Desarrollo sostenible*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/development/desa/es/keyissues/sustainable.html>
- OSGOOD, C., SUCI, G. & TANNENBAUM, P. (1957). *La Medida del Significado*, Madrid.
- PLASENCIO, J. (2007). *Efecto del perfil de densidad de los tableros de MDF sobre su capacidad de humectación*. [Tesis: Título Ingeniero en Maderas] Universidad Austral de Chile.
- PLASTIC INDUSTRY ASSOCIATION. (2016). Definitions of Resins - Polyvinyl Acetate (PVAc) & Other Vinyls. Obtenido de PLASTIC INDUSTRY ASSOCIATION: <http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=1408&>
- PLÁSTICOS HADDAD. (s. f). Pelotas para piscina. [Figura]. Obtenido de: <http://www.haddad.cl/pelotas%20piscina%20sec a.htm>
- PLAYDOH. (s. f). Paquete de colores clásicos. [Figura]. Obtenido de: <https://playdoh.hasbro.com/es-lam/product/play-doh-rainbow-starter-pack:FC6B480F-5056-9047-F5EF-BF1A8441C568>
- POBLETE W, H., & BURGOS O, R. (2010). Eucalyptus nitens as raw material for particleboards. *Maderas: ciencia y tecnologia*, vol. 12(1), 25-35.
- RODA. (2020). Bicicleta clásico rojo. [Figura]. Obtenido de: <https://roda.cl/products/bicicleta-roda-clasica-roja>
- SALAZAR, J. A. H., VÁSQUEZ, L. & ZAMUDIOS, F. (2001). Durabilidad natural de la madera de cinco especies de Quercus del estado de Puebla. *Polibotánica*, 85-100.
- SLIME AFTA. (s. f). Fishbowl turquesa. [Figura]. Obtenido de: <https://www.slimeafta.cl/producto/fishbowl-turquesa/>
- STERNA LORATA. (2021). Cubos didáctico. [Figura]. Obtenido de: <https://sternalorata.cl/producto/cubos-de-madera-didacticos-135/>
- STERNA LORATA. (2021). Cubo madera animales. [Figura]. Obtenido de: <https://sternalorata.cl/producto/cubo-madera-animales/>

- STERNA LORATA. (2021). Juguete de arrastre. [Figura]. Obtenido de: <https://sternalorata.cl/producto/juguete-madera-arrastre-cocodrilo/>
- STUPENENGO, F. (2011). Materiales y materias primas: Materiales compuestos. *Instituto Nacional de Educación Tecnológica*. Guía didáctica, Capítulo, 10.
- TORRES, S., MONDRAGON, J. & FUENTES, V (s. f). Propuesta para el diseño de un triturador de PET con geolocalización. *Ingeniería*, 46.
- TSOUMIS, G. (1991). *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. Van Nostrand Reinhold New York.
- VEZZOLI, C. 2014. *The “Material” Side of Design for Sustainability. Materials Experience. Fundamentals of Materials and Design*. Elsevier.
- VIVEROS, E. (2007). *Efecto del Desgaste del Cuchillo en la Calidad de la Unión Adhesiva*. Universidad del Bio Bio, Concepción.
- WECHSLER, A. (2013). *Sustainable Particleboards: Renewable Building Materials from Agricultural and Forestry By-products*.
- WOOL, R. P. & SUN, X. S. (2005). *Bio-Based Polymers and Composites*. Elsevier. London.
- SELLING, G., HOJILLA EVANGELIST, M., SESSA, D. & WILLET, J. (2004). Nonfood Utilization of Cereal and Soy Based Co-Products. *Plant Polymer Research: USDA*.
- ZUÑIGA, D. (30 de diciembre de 2020). MADPOD ofrece una construcción más rápida y limpia gracias a sus espacios modulares-plegables de madera sólida. Obtenido de MADERA 21: <https://www.madera21.cl/blog/2020/12/30/madpod-ofrece-una-construccion-mas-rapida-y-limpia-gracias-a-sus-espacios-modulares-plegables-de-madera-solida/>

ANEXOS

1. Diferencial semántico diseñadores

| | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|--------------|
| SUAVE | | 2 | 1 | 2 | 1 | | | ÁSPERO |
| CÁLIDO | | 3 | 3 | | | | | FRÍO |
| BLANDO | | | 1 | 3 | | 1 | 1 | DURO |
| LIVIANO | 2 | 2 | 2 | | | | | PESADO |
| BRILLANTE | | | | | | 2 | 4 | MATE |
| NATURAL | | 1 | 2 | | | 1 | 2 | ARTIFICIAL |
| ANTIGUO | | 2 | | 3 | 1 | | | MODERNO |
| ELEGANTE | | | 2 | | 3 | 1 | | VULGAR |
| LUJOSO | | | | 1 | 1 | 3 | 1 | HUMILDE |
| COSTOSO | | | | 1 | 1 | 3 | 1 | BARATO |
| BAJA CALIDAD | | | | 1 | 4 | | 1 | ALTA CALIDAD |
| RESISTENTE | | 2 | 2 | | 1 | 1 | | FRÁGIL |
| FLEXIBLE | | | | | | 2 | 4 | RÍGIDO |
| AGRADABLE | 1 | 2 | 3 | | | | | DESAGRADABLE |
| DURADERO | | | 3 | | | 1 | 2 | TEMPORAL |
| CONVENCIONAL | | 1 | 1 | | | 1 | 3 | INNOVADOR |
| ABURRIDO | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | INTERESANTE |
| RARO | | 1 | | 2 | 1 | 1 | 1 | COMÚN |
| BRUTO | | | 1 | | | 1 | 4 | PROCESADO |
| LIMPIO | 1 | | 1 | 2 | 1 | 1 | | SUCIO |
| BELLO | 1 | 1 | 2 | 1 | | 1 | | FEO |
| SUSTENTABLE | 1 | 3 | 1 | | 1 | | | INSOSTENIBLE |

2. Diferencial semántico adultos responsables de niños entre 2 y 5 años.

| | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|--------------|
| SUAVE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ÁSPERO |
| CÁLIDO | 2 | 1 | 2 | 1 | | | 1 | FRÍO |
| BLANDO | 1 | 1 | 2 | | | | 3 | DURO |
| LIVIANO | 2 | 2 | 1 | | 1 | | 1 | PESADO |
| BRILLANTE | 1 | | 1 | | 2 | | 3 | MATE |
| NATURAL | 2 | 3 | 2 | | | | | ARTIFICIAL |
| ANTIGUO | | | | 2 | 2 | 1 | 2 | MODERNO |
| ELEGANTE | 1 | | 3 | 1 | 1 | 1 | | VULGAR |
| LUJOSO | 1 | | 2 | 1 | | 1 | 2 | HUMILDE |
| COSTOSO | | | 3 | 1 | | 1 | 2 | BARATO |
| BAJA CALIDAD | | 2 | | 1 | 3 | | 1 | ALTA CALIDAD |
| RESISTENTE | 3 | 2 | 2 | | | | | FRÁGIL |
| FLEXIBLE | 1 | | 2 | | | | 4 | RÍGIDO |
| AGRADABLE | 5 | 1 | | | 1 | | | DESAGRADABLE |
| DURADERO | 2 | 2 | 1 | 1 | | | 1 | TEMPORAL |
| CONVENCIONAL | 3 | 1 | | | 2 | | 1 | INNOVADOR |
| ABURRIDO | 1 | | | | 3 | 1 | 2 | INTERESANTE |
| RARO | 1 | 3 | 2 | | | | 1 | COMÚN |
| BRUTO | | 1 | | 1 | 1 | | 4 | PROCESADO |
| LIMPIO | 4 | 2 | | | 1 | | | SUCIO |
| BELLO | 1 | 2 | 3 | | | | 1 | FEO |
| SUSTENTABLE | 5 | 1 | | | 1 | | | INSOSTENIBLE |

3. Diferencial semántico consumidor consciente

| | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|--------------|
| SUAVE | | 2 | 3 | 2 | 2 | | | ÁSPERO |
| CÁLIDO | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | | | FRÍO |
| BLANDO | 1 | | 2 | 1 | 3 | | 2 | DURO |
| LIVIANO | | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | PESADO |
| BRILLANTE | | 1 | | 3 | 3 | | 2 | MATE |
| NATURAL | 2 | 4 | | 2 | 1 | | | ARTIFICIAL |
| ANTIGUO | 1 | 2 | 1 | 3 | | | 2 | MODERNO |
| ELEGANTE | 1 | 3 | 4 | | | 1 | | VULGAR |
| LUJOSO | | 1 | 4 | 2 | 1 | | 1 | HUMILDE |
| COSTOSO | | 2 | 2 | 3 | | 1 | 1 | BARATO |
| BAJA CALIDAD | | 1 | 3 | 2 | 1 | | 2 | ALTA CALIDAD |
| RESISTENTE | 4 | 4 | | 1 | | | | FRÁGIL |
| FLEXIBLE | 1 | 1 | | 2 | 3 | | 2 | RÍGIDO |
| AGRADABLE | 4 | 3 | 1 | 1 | | | | DESAGRADABLE |
| DURADERO | 1 | 2 | 3 | 3 | | | | TEMPORAL |
| CONVENCIONAL | 1 | | 2 | 3 | 1 | | 2 | INNOVADOR |
| ABURRIDO | | | 1 | 1 | 4 | | 3 | INTERESANTE |
| RARO | 3 | 4 | | | 2 | | | COMÚN |
| BRUTO | | | 3 | 1 | 3 | | 2 | PROCESADO |
| LIMPIO | 2 | 3 | 1 | 3 | | | | SUCIO |
| BELLO | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | | | FEO |
| SUSTENTABLE | 2 | 7 | | | | | | INSOSTENIBLE |

Matriz de Pugh

| PROPIEDADES | | Trabajabilidad | | | Propiedades Visuales | | | | | Propiedades táctiles | | | Contacto con agua | | Flexión | Tracción | Degradable en 5 años en condiciones extremas | PUNTAJE |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------|---------------|------|--------------------|---------------------|----------------------|------|--------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|----------|--|---------|
| | | Fabricación por molde | Material resistente a perforación | Fácil de lijar | Opaco (no translúcido) | Color natural | Mate | Superficie regular | Partículas visibles | Cálido | Duro | Superficie con poros, regular y lisa | Baja absorción de agua | Resistente a humedad | Flotabilidad | | | |
| ÁREA | USOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOBILIARIO INTERIOR | Sillas/taburetes | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| | Cubierta de mueble | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| | Mesa de centro o auxiliar | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| | Repisa | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| PRODUCTOS DE INTERIOR | Perchero | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 8 |
| | Marco de espejo | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 8 |
| | Reloj | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 8 |
| | Organizador de escritorio | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| REVESTIMIENTO | Módulos paneles interiores | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 8 |

| PROPIEDADES | | Trabajabilidad | | | Propiedades Visuales | | | | | Propiedades táctiles | | | Contacto con agua | | Flexión | Tracción | Degradable en 5 años en condiciones extremas | PUNTAJE |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------|---------------|------|--------------------|---------------------|----------------------|------|--------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|----------|--|---------|
| | | Fabricación por molde | Material resistente a perforación | Fácil de lijar | Opaco (no translúcido) | Color natural | Mate | Superficie regular | Partículas visibles | Cálido | Duro | Superficie con poros, regular y lisa | Baja absorción de agua | Resistente a humedad | Flotabilidad | | | |
| ÁREA | USOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRODUCTOS DE EXTERIOR | Módulos paneles jardinería | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | -1 | 7 |
| | Macetero degradable | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 1 | 9 |
| | Mobiliario de exterior | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | -1 | 8 |
| CONTENEDORES | Packaging degradable | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | 1 | 8 |
| | Contenedor multiuso | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 8 |
| ILUMINACIÓN | Pantalla de luminaria | 1 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 6 |

| PROPIEDADES | | Trabajabilidad | | | Propiedades Visuales | | | | | Propiedades táctiles | | | Contacto con agua | | Flexión | Tracción | Degradable en 5 años en condiciones extremas | PUNTAJE |
|-------------|--|-----------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------|---------------|------|--------------------|---------------------|----------------------|------|--------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|----------|--|---------|
| | | Fabricación por molde | Material resistente a perforación | Fácil de lijar | Opaco (no translúcido) | Color natural | Mate | Superficie regular | Partículas visibles | Cálido | Duro | Superficie con poros, regular y lisa | Baja absorción de agua | Resistente a humedad | Flotabilidad | | | |
| ÁREA | USOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COCINA | Bandeja para cortar | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | | | -1 | 0 |
| | Bandeja de comida | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | | | -1 | 2 |
| | Contenedor de alimentos (Frutera/panera) | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | | | -1 | 3 |
| | Mango de utensilios de cocina. | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | | | -1 | 3 |
| | Cubierta para recipientes calientes. | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | | | -1 | 4 |
| OTROS | Mango de herramientas | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |
| | Tabla de surf | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 0 | 10 |
| INFANTIL | Juguetes | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 11 |
| | Mobiliario infantil | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | 9 |

RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A RAYOS UV
40% Espuma – 60%viruta



DÍA 0



QUINCENA 1



QUINCENA 2



QUINCENA 3



QUINCENA 4



QUINCENA 5



QUINCENA 6



QUINCENA 7

RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A RAYOS UV
50% Espuma – 50%viruta



DÍA 0



QUINCENA 1



QUINCENA 2



QUINCENA 3



QUINCENA 4



QUINCENA 5



QUINCENA 6



QUINCENA 7

RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A TIERRA HÚMEDA
40% Espuma – 60%viruta



DÍA 0



QUINCENA 1



QUINCENA 2



QUINCENA 3



QUINCENA 4



QUINCENA 5



QUINCENA 6



QUINCENA 7

RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A TIERRA HÚMEDA
50% Espuma – 50%viruta



DÍA 0



QUINCENA 1



QUINCENA 2



QUINCENA 3



QUINCENA 4



QUINCENA 5



QUINCENA 6



QUINCENA 7

| MEDICIÓN DE LA MASA (g) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| ENSAYO RESISTENCIA A RAYOS UV | | | | | | | | | |
| MUESTRAS | S0 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | |
| MUESTRAS ES50VI50 | A | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,4 | 22,4 | 22,4 | 22,3 | 22,5 |
| | B | 23,3 | 23 | 23 | 23 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 23 |
| | C | 23,7 | 23,4 | 23,4 | 23,4 | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,5 |
| | D | 22,8 | 22,6 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,4 | 22,6 |
| Promedio | 23,1 | 22,9 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,7 | 22,9 | |
| MUESTRAS ES40VI60 | A | 23,6 | 23,4 | 23,3 | 23,3 | 23,2 | 23,1 | 23,1 | 22,8 |
| | B | 23,3 | 23 | 22,9 | 22,9 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,4 |
| | C | 22,7 | 22,4 | 22,3 | 22,3 | 22,2 | 22,2 | 22,1 | 22 |
| | D | 24,3 | 24 | 23,9 | 23,9 | 23,9 | 23,8 | 23,8 | 23,5 |
| Promedio | 23,5 | 23,2 | 23,1 | 23,1 | 23 | 23 | 23 | 22,7 | |

| MEDICIÓN DEL VOLUMEN (cm ³) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| ENSAYO RESISTENCIA A RAYOS UV | | | | | | | | | |
| MUESTRAS | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | |
| MUESTRAS ES50VI50 | A | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 37,5 | 37,5 | 37,5 | 37,5 | 37,5 |
| | B | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 |
| | C | 37,1 | 37,1 | 37,1 | 37,1 | 37,1 | 37,1 | 37,1 | 37,1 |
| | D | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 39,1 |
| Promedio | 38,5 | 38,5 | 38,5 | 38,3 | 38,3 | 38,3 | 38,3 | 38 | |
| MUESTRAS ES40VI60 | A | 57,5 | 57,5 | 57,5 | 57,5 | 57,5 | 57,5 | 57,5 | 57,5 |
| | B | 58,8 | 57,5 | 55,1 | 55,1 | 55,1 | 55,1 | 55,1 | 55,1 |
| | C | 54 | 54 | 50,7 | 50,7 | 50,7 | 50,7 | 50,7 | 50,7 |
| | D | 61 | 59,8 | 59,8 | 59,8 | 59,8 | 59,8 | 59,8 | 59,8 |
| Promedio | 57,8 | 57,2 | 55,8 | 55,8 | 55,8 | 55,8 | 55,8 | 55,8 | |

| MEDICIÓN DE LA MASA (g) | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ENSAYO RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A TIERRA HÚMEDA | | | | | | | | | |
| MUESTRAS | | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 |
| MUESTRAS ES50VI50 | 1 | 22,3 | 22,2 | 22,5 | 22,1 | 22,1 | 22 | 21,9 | 22,1 |
| | 2 | 24,1 | 24,2 | 24,2 | 24 | 24,1 | 23,9 | 23,9 | 24 |
| | 3 | 23,6 | 23,7 | 23,7 | 23,5 | 23,5 | 23,3 | 23,2 | 23,5 |
| | 4 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22,8 | 22,7 | 22,7 | 22,8 |
| Promedio | | 23,3 | 23,3 | 23,4 | 23,2 | 23,1 | 23 | 22,9 | 23,1 |
| MUESTRAS ES40VI60 | 1 | 22,5 | 22,4 | 22,5 | 22,4 | 22,2 | 22,1 | 22,1 | 22,1 |
| | 2 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,7 | 23,5 | 23,5 | 23,4 | 23,6 |
| | 3 | 23,7 | 23,7 | 23,8 | 23,8 | 23,5 | 23,4 | 23,3 | 23,6 |
| | 4 | 23,2 | 23,2 | 23,8 | 23 | 22,9 | 22,7 | 22,7 | 23 |
| Promedio | | 23,3 | 23,3 | 23,5 | 23,2 | 23 | 22,9 | 22,9 | 23,1 |

| MEDICIÓN DEL VOLUMEN (cm ³) | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ENSAYO RESISTENCIA A EXPOSICIÓN A TIERRA HÚMEDA | | | | | | | | | |
| MUESTRAS | | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 |
| MUESTRAS ES50VI50 | 1 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 37,6 | 37,6 | 37,6 | 37,6 |
| | 2 | 41,6 | 41,6 | 40,8 | 39 | 37,5 | 37,5 | 37,5 | 37,5 |
| | 3 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,8 |
| | 4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 38,4 | 37,6 | 37,6 | 37,6 |
| Promedio | | 38,8 | 38,8 | 38,6 | 38,2 | 37,6 | 37,4 | 37,4 | 37,4 |
| MUESTRAS ES40VI60 | 1 | 50,4 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| | 2 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 |
| | 3 | 47,8 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 45,6 |
| | 4 | 46,6 | 46,6 | 46,6 | 45,6 | 45,6 | 45,6 | 45,6 | 45,6 |
| Promedio | | 47,9 | 47 | 47 | 46,7 | 46,7 | 46,7 | 46,7 | 46,6 |

Entrevista a tornerías

| TONERÍA N° <u>1</u> | | | |
|---|--------------------|---------------------|------------------------------|
| Nombre tornería | El Progreso Upaval | | |
| Dirección | Matta 1399 | | |
| Teléfono | 186935160 | Horario de atención | 10:30 a 19:30 lunes a sábado |
| Entrevistado(a) | Federico Opazo | | |
| ¿Qué maderas nativas se trabajan más? | | | |
| Lenga, raulí y coihue. | | | |
| Pino es la que más se produce, pero no es nativa. | | | |
| ¿Dónde obtienen la madera? | | | |
| Barracas Tarapacá, Añihue, Foresta | | | |
| ¿Qué tipo de residuo se genera más? Viruta, aserrín, trozos. | | | |
| Viruta | | | |
| ¿Cuánta cantidad aproximada se genera a la semana? (Ejemplo: cantidad de sacos) | | | |
| 10 a 20 sacos de 165 lts semanales. | | | |
| ¿Qué se hace con los residuos generados? | | | |
| La viruta y aserrín se las lleva una camioneta. | | | |
| Los trozos se regalan o botan. | | | |
| ¿Es posible separar los residuos por madera nativa para ser reutilizados? | | | |
| Sí. | | | |

| TONERÍA N° 2 | | | |
|---|-------------------|---------------------|------------------------------|
| Nombre tornería | Ébano | | |
| Dirección | Matta 1239 | | |
| Teléfono | +56954219935 | Horario de atención | 10 a 18 hrs, lunes a viernes |
| Entrevistado(a) | Elizabeth Escobar | | |
| ¿Qué maderas nativas se trabajan más? | | | |
| Lenga, raulí, coihue y tepa. Otras menos frecuente el avellano y castaño. | | | |
| Pino es la que más se produce, pero no es nativa. | | | |
| ¿Dónde obtienen la madera? | | | |
| Barracas Barrio Franklin. | | | |
| ¿Qué tipo de residuo se genera más? Viruta, aserrín, trozos. | | | |
| Viruta | | | |
| ¿Cuánta cantidad aproximada se genera a la semana? (Ejemplo: cantidad de sacos) | | | |
| 4 sacos de 165 lts semanales. | | | |
| ¿Qué se hace con los residuos generados? | | | |
| se van directamente a la basura, siendo pocas ocasiones las veces en que personas recurren a pedir porciones de viruta, las que usan para los desechos de las mascotas, según afirma. | | | |
| ¿Es posible separar los residuos por madera nativa para ser reutilizados? | | | |
| "No conviene, por la gran mano de obra que requiere y tiempo en recolectar todo" (se le recordó que eso ya lo hacen y no invierten más tiempo) | | | |

| TONERÍA N° 3 | | | |
|---|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| Nombre tornería | Gran Tornería Modelo | | |
| Dirección | San Ignacio de Loyola 1572 | | |
| Teléfono | 225552283 | Horario de atención | 8 a 17:31, lunes a viernes |
| Entrevistado(a) | Sergio Ibaceta | | |
| ¿Qué maderas nativas se trabajan más? | | | |
| Lenga, raulí, coihue y tepa. | | | |
| Pino es la que más se produce, pero no es nativa. | | | |
| ¿Dónde obtienen la madera? | | | |
| Barraca Añihue. | | | |
| ¿Qué tipo de residuo se genera más? Viruta, aserrín, trozos. | | | |
| Los 3 | | | |
| ¿Cuánta cantidad aproximada se genera a la semana? (Ejemplo: cantidad de sacos) | | | |
| 4 sacos de 165 lts semanales. | | | |
| ¿Qué se hace con los residuos generados? | | | |
| Se lo dan a las pesebreras. | | | |
| ¿Es posible separar los residuos por madera nativa para ser reutilizados? | | | |
| Sí. | | | |

| TONERÍA N° 4 | | | |
|---|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| Nombre tornería | Torneería Virgo | | |
| Dirección | Matta 1771 | | |
| Teléfono | 226974633 | Horario de atención | 9:30 a 17:30, lunes a viernes |
| Entrevistado(a) | Bella Donoso | | |
| ¿Qué maderas nativas se trabajan más? | | | |
| Lenga, raulí, tepa (nativa) y pino (no nativa) | | | |
| ¿Dónde obtienen la madera? | | | |
| Barracas Franklin. | | | |
| ¿Qué tipo de residuo se genera más? Viruta, aserrín, trozos. | | | |
| Trozos de madera de mayor dimensión y viruta. | | | |
| ¿Cuánta cantidad aproximada se genera a la semana? (Ejemplo: cantidad de sacos) | | | |
| Relativo, no puede asegurarlo. | | | |
| ¿Qué se hace con los residuos generados? | | | |
| Se lo llevan siempre. | | | |
| ¿Es posible separar los residuos por madera nativa para ser reutilizados? | | | |
| Sí. | | | |

| TONERÍA N° 5 | | | |
|--|--------------------|---------------------|--|
| Nombre tornería | Tornería F. Leyton | | |
| Dirección | Matta 1205 | | |
| Teléfono | 91505356 | Horario de atención | 10:30 a 19 hrs, lunes a viernes. Sábado hasta las 14:30 hrs. |
| Entrevistado(a) | Fernando Leyton | | |
| ¿Qué maderas nativas se trabajan más? | | | |
| Lenga, raulí, coihue (nativa) y pino (no nativa) | | | |
| ¿Dónde obtienen la madera? | | | |
| Barracas Franklin, Añihue. | | | |
| ¿Qué tipo de residuo se genera más? Viruta, aserrín, trozos. | | | |
| Viruta. | | | |
| ¿Cuánta cantidad aproximada se genera a la semana? (Ejemplo: cantidad de sacos) | | | |
| 1 saco de 165 lts. | | | |
| ¿Qué se hace con los residuos generados? | | | |
| Se lo lleva él mismo a la casa (a Cerrillos) para que se lo lleven como basura de escombros. | | | |
| ¿Es posible separar los residuos por madera nativa para ser reutilizados? | | | |
| Sí. | | | |

Catastro de los residuos en tornerías del barrio Matta en Santiago

| SACO 1 | |
|---|------------------------|
| Fecha de recolección: | 14 de febrero 2020 |
| Tornería | Gran Tornería Modelo |
| Estimación % maderas | 30% raulí – 70% pino |
| Peso viruta | 3.642,81 g |
| Peso aserrín | 522,54 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas. | No hay. |
| Origen de la viruta | Cepillo principalmente |
| SACO 2 | |
| Fecha de recolección: | 14 de febrero 2020 |
| Tornería | Gran Tornería Modelo |
| Estimación % maderas | 40% raulí – 60% pino |
| Peso viruta | 6257,19 g |
| Peso aserrín | 523,74 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas. | No |
| Origen de la viruta | Cepillo y torno |
| SACO 3 | |
| Fecha de recolección: | 14 de febrero 2020 |
| Tornería | Gran Tornería Modelo |
| Estimación % maderas | 100% raulí |
| Peso viruta | 1026,38 g |
| Peso aserrín | 4327 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | No |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 4 | |
| Fecha de recolección: | 14 de febrero 2020 |
| Tornería | El Progreso |
| Estimación % maderas | 50% raulí – 50% pino |
| Peso viruta | 4801,96 g |
| Peso aserrín | 2841 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | No |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 5 | |
| Fecha de recolección: | 21 de febrero 2020 |
| Tornería | Gran Tornería Modelo |
| Estimación % maderas | 100% Pino |
| Peso viruta | 247,36 g |
| Peso aserrín | 0 |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | No |
| Origen de la viruta | Cepillo |

| SACO 6 | |
|--|-----------------------|
| Fecha de recolección: | 21 de febrero de 2020 |
| Tornería | El Progreso |
| Estimación % maderas | 100% pino |
| Peso viruta | 4720,87 g |
| Peso aserrín | 1254,02 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | Sí |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 7 | |
| Fecha de recolección: | 21 de febrero de 2020 |
| Tornería | El Progreso |
| Estimación % maderas | 10% raulí – 90% pino |
| Peso viruta | 4562,07 g |
| Peso aserrín | 1040,48 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | Sí |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 8 | |
| Fecha de recolección: | 28 de febrero de 2020 |
| Tornería | El Progreso |
| Estimación % maderas | 30% raulí – 70% pino |
| Peso viruta | 6363,43 g |
| Peso aserrín | 3713,77 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | Sí |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 9 | |
| Fecha de recolección: | 28 de febrero de 2020 |
| Tornería | El Progreso |
| Estimación % maderas | 40% raulí – 60% pino |
| Peso viruta | 6243,15 g |
| Peso aserrín | 2711,90 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | Sí (3 kg aprox) |
| Origen de la viruta | Torno |
| SACO 10 | |
| Fecha de recolección: | 28 de febrero de 2020 |
| Tornería | Gran Tornería Modelo |
| Estimación % maderas | 30% raulí – 70% pino |
| Peso viruta | 5749,91 g |
| Peso aserrín | 2433,46 g |
| Presencia de otros trozos de madera, astillas o piezas torneadas | No |
| Origen de la viruta | Torno y cepillo |