

Hacia nuevas materialidades sostenibles:

Exploración del residuo cítrico como
materia prima para la elaboración de un
material compuesto biobasado



Memoria para optar al título profesional
de Diseñador Industrial

Otoño 2021

Simón Alonso Núñez Herrera

Profesora guía: Andrea Wechsler Pizarro

“En esta era de producción en masa, cuando todo ha de ser planificado y diseñado, el diseño se ha convertido en el instrumento más poderoso con el que el hombre da forma a sus herramientas y entorno (y, por extensión, la sociedad y a sí mismo).”

Victor Papanek

AGRADECIMIENTOS



A mi profesora guía Andrea Wechsler por su conocimiento, apoyo y sobre todo por su paciencia y buena disposición durante este largo y agitado proceso.

A todas las personas que aportaron con un poco de su tiempo para esta causa.

A mis amigas y amigos por su compañía y ánimo.

Y finalmente, un agradecimiento especial a toda mi familia y en particular a mis padres, Romina y Diego, porque aún a la distancia fueron capaces de darme el cariño y apoyo que necesitaba para enfrentar esta etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	6
TABLA DE CONTENIDOS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	14
LISTA DE TABLAS.....	18
RESUMEN.....	23
INTRODUCCIÓN.....	24
PARTE I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	28
1. Sostenibilidad frente a un futuro amenazado.....	33
1.1. Modelos de desarrollo sostenible.....	37
1.1.1. Ecología industrial.....	37
1.1.2. Diseño para la sostenibilidad.....	39
1.1.3. Economía circular.....	40
1.2. Criterios de sostenibilidad.....	42
2. Cáscara de naranja y otros cítricos como materia prima.....	47
2.1. Industria frutícola de cítricos en Chile.....	48
2.1.1. Catastro nacional de frutos cítricos.....	50
2.1.2. Gestión de residuos orgánicos.....	53
2.2. Estructura y composición del fruto cítrico.....	56
2.2.1. Componentes relevantes para el desarrollo del material.....	58
3. Perspectivas hacia el desarrollo de nuevos materiales.....	61
3.1. Materiales compuestos.....	62
3.1.1. Revisión de aglutinantes.....	64
3.2. Estado del arte.....	66
3.2.1. Materiales basados en aglutinantes de polímeros naturales.....	66
3.2.2. Materiales basados en residuos de naranja y otros cítricos.....	71
3.2.3. Conclusiones de la revisión de referentes.....	75

PARTE II: MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	78
4. Experimentación y diseño del material compuesto	85
4.1. Proceso de elaboración del material	86
4.1.1. Procesamiento del residuo cítrico	88
4.1.2. Fabricación de probetas del material compuesto	90
4.2. Determinación de la proporción definitiva y evaluación general del material	95
4.2.1. Costos de producción del material	96
5. Caracterización del material	99
5.1. Ensayos físicos del material	100
5.1.1. Densidad	100
5.1.2. Absorción de agua e hinchamiento	101
5.2. Ensayos mecánicos del material	102
5.2.1. Esfuerzo de tracción	102
5.2.2. Análisis dinamomecánico (DMA)	103
5.3. Evaluación de trabajabilidad del material	103
5.3.1. Pruebas de mecanizado	103
5.3.2. Pruebas de moldeado	106
5.4. Resistencia a agentes externos	108
5.4.1. Exposición a rayos UV	108
5.4.2. Degradación natural	109
5.5. Evaluación perceptual del material	110
5.5.1. Diferencial semántico	110
6. Validación del material	115
6.1. Planteamiento de propuestas de aplicación	116
6.1.1. Generación de propuestas	118
6.1.2. Evaluación y selección de propuestas	118
6.2. Diseño y prototipado de propuestas de aplicación	119
6.2.1. El material como propuesta de diseño de autor	120
6.2.2. El material como producto comercializable	126
PARTE III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	130
7. Experimentación y diseño del material compuesto	133
7.1. Proceso de elaboración del material	134

7.1.1. Procesamiento del residuo cítrico	136
7.1.2. Observaciones del proceso experimental con aglutinantes	137
7.2. Determinación de la proporción definitiva y evaluación general del material	145
7.2.1. Costos de producción del material	146
8. Caracterización del material.....	151
8.1. Ensayos físicos del material.....	152
8.1.1. Densidad.....	152
8.1.2. Absorción de agua e hinchamiento	154
8.2. Ensayos mecánicos del material	156
8.2.1. Análisis dinámomecánico (DMA)	156
Elección del material	158
8.3. Evaluación de trabajabilidad del material	160
8.3.1. Pruebas de mecanizado.....	160
8.3.2. Pruebas de moldeado.....	164
8.4. Resistencia a agentes externos	168
8.4.1. Exposición a rayos UV	168
8.4.2. Degradación natural.....	168
8.5. Evaluación perceptual del material.....	170
8.5.1. Diferencial semántico	170
Ficha técnica del material.....	172
9. Validación del material	175
Síntesis del material	176
9.1. Planteamiento de propuestas de aplicación	178
9.1.1. Generación de propuestas.....	180
9.1.2. Evaluación y selección de propuestas	181
9.2. Diseño y prototipado de propuestas de aplicación.....	182
9.2.1. El material como propuesta de diseño de autor	182
9.2.2. El material como producto comercializable	186
CONCLUSIÓN Y PROYECCIONES.....	191
LISTA DE REFERENCIAS	194
ANEXOS.....	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Las tres dimensiones de la sostenibilidad y su interacción	35
Figura 2: Líneas de acción del Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables	36
Figura 3: Niveles de intervención en respuesta a la degradación medioambiental	37
Figura 4: Flujo de materiales en el sistema industrial.....	38
Figura 5: Diagrama del flujo de valor en la economía circular	41
Figura 6: Producción y rendimiento de cítricos en Chile y el mundo	49
Figura 7: Destino de la producción informada de cítricos	51
Figura 8: Esquema circular de revalorización de los residuos cítricos	54
Figura 9: Los tres segmentos de los hesperídios	56
Figura 10: Clasificación de polímeros según origen y biodegradabilidad.....	63
Figura 11: Experimentación material de “ChemArts”	66
Figura 12: Muestras de biomateriales realizadas por el LABVA.....	67
Figura 13: Cuero vegetal desarrollado por el Studio Hole	68
Figura 14: El pabellón de “Aguahoja” en el MIT Media Lab	68
Figura 15: Productos y procesos de <i>Decafé</i>	69
Figura 16: Experimentación material de <i>Lugae</i>	70
Figura 17: Cuero vegetal de <i>FruitLeather Rotterdam</i>	70
Figura 18: Desarrollo material de <i>Squeeze the Orange</i>	71
Figura 19: Vasos compostables de <i>Repulp</i>	72
Figura 20: Líneas de producto y materiales de <i>Ottan</i>	72
Figura 21: El <i>Circular Juice Bar</i>	73
Figura 22: Exprimidores de jugo del Studio Arp.....	74
Figura 23: Experimentación material de Yuli Meroz.....	74
Figura 24: Insumos y herramientas para la fabricación del material compuesto	86
Figura 25: Esquema resumen de la experimentación de probetas y su composición material	87
Figura 26: Limpieza y secado de las cáscaras de naranja	88
Figura 27: Triturado y tamizado de las cáscaras de naranja.....	89
Figura 28: Consistencias de las mezclas en frío “A” y “B”	93

Figura 29: Proceso de elaboración del material “A”	93
Figura 30: Proceso de elaboración del material “B”	94
Figura 31: Probetas para los ensayos físicos del material	101
Figura 32: Tamaño de probeta para la norma ASTM D638-14	102
Figura 33: Procedimiento de corte láser sobre el material.....	105
Figura 34: Conformado en moldes cerrados.....	106
Figura 35: Los tres patrones geométricos explorados	107
Figura 36: Conformado en moldes laminares texturizados.....	107
Figura 37: Temperatura registrada durante el período Diciembre-Enero	108
Figura 38: Probetas del material para el ensayo de degradación natural.....	109
Figura 39: Probetas para la evaluación perceptual del material	112
Figura 40: Estructura de información para el diseño de producto	117
Figura 41: Propuestas de aplicación seleccionadas.....	119
Figura 42: Moodboard de texturas orgánicas	121
Figura 43: Definición textura y forma de la pantalla.....	122
Figura 44: Modelo digital en <i>Rhinoceros/Grasshopper</i>	124
Figura 45: Superficie y espesores definidos para la pantalla	124
Figura 46: Modelo digital del molde utilizado en la pantalla	125
Figura 47: Esquema detallado del proceso de elaboración del material.....	134
Figura 48: Tonalidades resultantes tras la molienda del residuo	136
Figura 49: Resultados de la experimentación con aglutinantes	137
Figura 50: Contracción del material durante el proceso de secado.....	140
Figura 51: Antes y después del prensado de una probeta	140
Figura 52: Agrietamiento y mezcla mal aglutinada en una probeta	141
Figura 53: Presencia de moho en las probetas	142
Figura 54: Proceso de recomposición del material.....	143
Figura 55: Materiales resultantes de ambos procesos	144
Figura 56: Promedio de densidad de las probetas analizadas	152
Figura 57: Intersección del material en el software <i>CES Edupack</i>	153
Figura 58: Absorción e hinchamiento de las probetas analizadas.....	154

Figura 59: Observaciones del material en los ensayos físicos.....	155
Figura 60: Módulo de almacenamiento y viscosidad compleja del material en el DMA	157
Figura 61: Tangente Delta del material en el DMA	157
Figura 62: Composición y densidad del material B.....	158
Figura 63: Material biobasado correspondiente al proceso B.....	159
Figura 64: Probetas realizadas en la evaluación de corte, grabado y rasterizado láser	163
Figura 65: Moldeo por compresión	164
Figura 66: Conformado del material en moldes cerrados.....	165
Figura 67: Grado de translucidez del material según el espesor	167
Figura 68: Conformado del material en moldes laminares texturizados	167
Figura 69: Cambios en el color del material tras exposición UV.....	168
Figura 70: Observaciones durante el ensayo de degradación.....	169
Figura 71: Proceso de degradación de las probetas	169
Figura 72: Diferencias entre los grupos y series analizadas.....	170
Figura 73: Resultados del Diferencial Semántico total.....	171
Figura 74: Esquema síntesis del material compuesto biobasado	176
Figura 75: Esquema de etapas y actores involucrados en el desarrollo del material	178
Figura 76: Propuestas de aplicación por categorías	180
Figura 77: Estampado texturizado sobre el material	183
Figura 78: Fotomontaje detalle de relieve	184
Figura 79: Fotomontaje en contexto.....	186

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de los criterios de sostenibilidad	42
Tabla 2: Hectáreas de cultivos de cítricos en Chile.....	50
Tabla 3: Hectáreas de cultivos de cítricos en la R.M.....	51
Tabla 4: Empresas procesadoras en cercanías de Santiago (R.M.).....	52
Tabla 5: Composición de la cáscara de cítricos (%).....	57
Tabla 6: Caracterización física la cáscara de cítricos.....	57

Tabla 7: Revisión de aglutinantes a experimentar	64
Tabla 8: Resumen de la revisión de referentes	76
Tabla 9: Resumen de los métodos de investigación	82
Tabla 10: Etapa de experimentación y diseño del material	85
Tabla 11: Formulación de probetas y proporciones.....	91
Tabla 12: Parámetros cuantitativos para la evaluación de probetas.....	91
Tabla 13: Parámetros cualitativos para la evaluación de probetas.....	91
Tabla 14: Formulación de nuevas proporciones con agar-agar.....	95
Tabla 15: Consumo energético del proceso de fabricación	96
Tabla 16: Costos de la materia prima	96
Tabla 17: Etapa de caracterización del material	99
Tabla 18: Probetas a evaluar en los ensayos	100
Tabla 19: Grados de trabajabilidad según defectos en el material	104
Tabla 20: Grupos de encuestados para el diferencial semántico	111
Tabla 21: Etapa de validación del material	115
Tabla 22: Matriz de Pugh para la evaluación y selección de ideas.....	118
Tabla 23: Resultados de densidad de las partículas de naranja.....	136
Tabla 24: Resultados de la experimentación con aglutinantes.....	138
Tabla 25: Resultados del consumo energético del material.....	146
Tabla 26: Resultados de los costos de la materia prima.....	147
Tabla 27: Determinación de densidad de probetas A y B.....	152
Tabla 28: Hinchamiento y absorción de agua tras 1 y 24 horas	154
Tabla 29: Trabajabilidad con herramientas cortantes	160
Tabla 30: Trabajabilidad con herramientas perforadoras.....	161
Tabla 31: Ficha resumen de la caracterización del material.....	172



RESUMEN

El presente proyecto apunta a diseñar un material compuesto biobasado a partir de la cáscara de naranja y aglutinantes derivados de polímeros naturales. Se establecen como puntos de partida el residuo y las distintas recetas compartidas en las comunidades de materiales DIY para explorar el potencial de la materia prima desde un enfoque iterativo que involucra experimentación, caracterización y validación al proceso de diseño.

La investigación se desarrolla en tres partes, la primera parte corresponde a la revisión de literatura, en donde se abordan temáticas como: la sostenibilidad y los modelos de desarrollo sostenible, el fruto cítrico, sus características y la industria frutícola nacional, por último, las perspectivas hacia el desarrollo de nuevos materiales compuestos y el estado del arte. La segunda parte agrupa los métodos por los cuales se llevó a cabo la investigación, incorporando las etapas de experimentación con la materia prima, caracterización del material a través ensayos normados y validación mediante propuestas de aplicación. La tercera parte expone y discute los resultados obtenidos en la investigación, evaluando los hitos y decisiones en cada una de las etapas mencionadas anteriormente para dar paso a la conclusión, alcances y proyecciones del material desarrollado.

El material resultante presenta una densidad similar a la de polímeros como el PLA, PET y TPS, además, muestra una gran resistencia a la flexión, rápida degradación en sustrato, marcado aroma dulce y de translucidez variable según su espesor y alta higroscopicidad, siendo poco resistente a la exposición prolongada al agua. En cuanto a su trabajabilidad, el material puede ser conformado en moldes o prensado con rodillos para conseguir láminas, también puede ser mecanizado manualmente o mediante corte láser. El material compuesto de cáscara de naranja se desarrolló con herramientas e insumos adaptados para su fabricación desde el hogar, por tanto, requiere de un bajo nivel de tecnología para su producción y sus cualidades lo hacen perfilarse como un material con importantes proyecciones en la fabricación digital.

INTRODUCCIÓN

Degradación de los hábitats, pérdida de biodiversidad, escasez de recursos, acumulación de residuos y cambio climático son solo algunas de las innegables consecuencias negativas que ha traído el desarrollo económico y tecnológico del último siglo (Ashby, 2015). No parece difícil aseverar que la crisis medioambiental que hoy vivimos se ha producido en gran parte por el consumo, la sobreproducción y una sociedad que ha devaluado la durabilidad y ha instaurado una industria que perpetúa la práctica del usar-desechar (Bauman, 2007).

Desde el escenario local, Chile, por segundo año consecutivo, es el primer país latinoamericano en alcanzar el sobregiro ecológico (Global Footprint Network, 2021), esto significa que los recursos naturales que la población demanda para un año están por encima de lo que la tierra es capaz de producir y regenerar en el mismo tiempo. En otras palabras, Chile ha explotado la tierra más allá de su biocapacidad para regenerarse.

Ante este panorama global de crisis medioambiental, resulta apremiante encontrar nuevas y mejores alternativas de producción; más sostenibles, inclusivas y generosas con el medio que las abastece. Es necesario vincular las problemáticas de nuestra cultura material a la forma en que los productos deben ser concebidos y manufacturados.

Diversos movimientos, tanto colectivos como individuales, se han abocado a la tarea de promover acciones en pos de la sostenibilidad, poniendo especial énfasis en desarrollar modelos de economía circular que revalorizan y reincorporan las materias primas y sus derivados a las cadenas productivas.

Desde esta línea, en los últimos años han surgido nuevas nociones que aportan una mirada distinta a la relación existente entre diseñadores, materiales, tecnologías y procesos de producción: los materiales DIY (acrónimo de *Do It Yourself*, hazlo tú mismo/a), un movimiento que revaloriza la práctica artesanal y la fabricación propia, sustentado en la democratización de las tec-

nologías y la autonomía a los medios de producción tradicionales (Tanenbaum *et al.*, 2013; Ayala-García, 2019). El acercamiento DIY se propone como una herramienta para desarrollar nuevos productos, lenguajes y experiencias materiales desde un enfoque iterativo de exploración con las materias primas, a menudo involucrando técnicas y procesos concebidos por el diseñador (Rognoli *et al.*, 2015).

Bajo las temáticas de investigación planteadas anteriormente, el presente proyecto tiene como objetivo explorar el potencial de la cáscara de naranja y otros cítricos como materia prima para la elaboración de un material compuesto biobasado.

La oportunidad de diseño surge con los frutos cítricos, particularmente con la naranja, un fruto ampliamente consumido en todo el planeta y cuya cáscara tiene un gran potencial de revalorización, en primer lugar, por la disponibilidad del residuo tanto a nivel doméstico como industrial y, en segundo lugar, debido a su contenido lignocelulósico y abundante presencia de pectina, un polímero utilizado como matriz para la fabricación de bioplásticos.

La producción global de cítricos hoy supera los 120 millones de toneladas de fruta fresca anual, posicionándose como uno de los cultivos de mayor importancia comercial a nivel mundial (FAO, 2017). En Chile, la tasa de valorización de los residuos orgánicos es menor al 1% del volumen total (MMA, 2020), donde las cáscaras, remanentes de pulpa y frutas de descarte provenientes de la industria de procesados (jugos, pulpas, conservas y mermeladas) son comúnmente desechadas en rellenos sanitarios. Esto significa un importante volumen de materia orgánica desaprovechada y que actualmente implica alto impacto ambiental y potencial riesgo a la salud de las personas debido al proceso de descomposición anaeróbica y los lixiviados.

Si bien existe un estado del arte sólido en materia de polímeros biobasados, el cruce entre los criterios de sostenibilidad propuestos durante la investigación y el contexto productivo de la industria cítrica chilena o de la región determinará la factibilidad de desarrollar un material de estas características en el país bajo los esquemas de economía circular y diseño para la sostenibilidad.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Explorar el potencial de las cáscaras de cítricos como materia prima para la elaboración de un material compuesto biobasado.

Objetivos específicos

- 1 Diseñar el compuesto biobasado de residuos cítricos desde un enfoque iterativo de exploración material.
- 2 Caracterizar el material compuesto basado en cáscaras de cítricos a través de ensayos para generar una ficha técnica que agrupe las propiedades del material.
- 3 Validar el material mediante el diseño de propuestas de aplicación que aprovechen sus propiedades.

Los métodos de investigación planteados para la consecución de estos objetivos proceden de la siguiente manera:

En una primera instancia se define el proceso experimental para el estudio de las variables de composición y proporción del material, se esquematizan los costos asociados a la producción del material y, finalmente, se fabrican probetas definitivas a utilizar en etapas posteriores.

Posteriormente, las probetas elaboradas son sometidas a ensayos para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas, así como también la resistencia a agentes externos, su trabajabilidad y características experienciales como la percepción de distintos usuarios hacia el material.

La última etapa comprende la definición, evaluación, selección de propuestas de aplicación del material para finalmente culminar en el desarrollo conceptual y prototipado de dos propuestas de diseño que incorporen características del material exploradas durante la investigación.



Parte I

REVISIÓN DE LITERATURA



La revisión de literatura corresponde a la primera parte de la investigación y se compone por tres capítulos:

El primer capítulo expone el contexto de crisis medioambiental abordando distintos modelos de desarrollo sostenible. Luego, en base a los autores revisados, se establecen una serie de criterios de sostenibilidad para el desarrollo de un material de bajo impacto ambiental.

El segundo capítulo aborda el fruto cítrico a partir del levantamiento de información respectiva a la industria frutícola nacional y la gestión de residuos orgánicos. Posteriormente se analizan las características del fruto y se determinan componentes relevantes para el desarrollo del material compuesto biobasado.

El tercer capítulo plantea perspectivas hacia el desarrollo de nuevos materiales compuestos desde la base del DIY (del inglés: *Do It Yourself*, hazlo tú mismo/a). Se definen los aglutinantes a explorar en etapas posteriores y se presentan referentes de materiales biobasados en el estado del arte.



1 Sostenibilidad frente a un futuro amenazado

No parece difícil evidenciar que la actividad humana del último siglo ha desencadenado en una crisis medioambiental de impacto global que hoy está afectando la integridad de los ecosistemas y, por consiguiente, la sobrevivencia de todos los seres vivos del planeta. La degradación generalizada de los hábitats, la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y una creciente desigualdad social son algunas de las consecuencias de un modelo económico basado en la explotación exhaustiva de recursos y un desarrollo tecnológico que no considera el impacto social y medioambiental de sus decisiones (Ashby, 2015). Parte de este problema recae en las industrias actuales, las cuales aún operan bajo los mismos paradigmas desarrollados cuando los humanos tenían una concepción del mundo muy distinta: un vasto planeta rico en recursos que permanece inmutable a la acción humana (McDonough & Braungart, 2002). Una idea que está muy lejos de representar la realidad actual.

Si explicamos esta problemática a través de cifras tenemos que, al día de hoy, la demanda anual de recursos de la humanidad supera 1,7 veces la capacidad de la Tierra, es decir que a la Tierra le toma cerca de 1 año y 8 meses en regenerar lo utilizado (Global Footprint Network, 2019). Cada año en el mundo desaparecen 6,5 millones de hectáreas de bosque, principalmente para usar sus suelos en agricultura, desarrollo urbano y expansión de infraestructura en minería (FAO, 2016). En términos de biodiversidad, la pérdida y degradación de los hábitats naturales ha resultado en la disminución del 58% de la población de especies vertebradas en los últimos 40 años (WWF, 2016). Es necesario comprender los límites del crecimiento humano y actuar proactivamente contra esta crisis antes de que sus daños sean irreversibles.

Hoy nos encontramos en un escenario crítico para la vida en el planeta, vivimos en una sociedad sobreestimulada, sobreproducida y que se complejiza a pasos agigantados, un mundo con recursos naturales que comienzan a escasear y necesidades humanas que van en ascenso, una generación que ha heredado

las comodidades de la revolución industrial y junto con ello sus consecuencias. Los progresos industriales que parecen beneficiar a la sociedad también han sido la fuente principal de problemas para ésta misma (Jelinski *et al.*, 1992).

Más de tres décadas han pasado desde que el término desarrollo sostenible se incorporó al debate global, la apremiante situación del planeta producto de la gran aceleración de la actividad humana y su economía durante el siglo XX ya comenzaba a manifestar en aquel entonces sus repercusiones sobre el medio natural, la toma de conciencia y valoración de las consecuencias futuras que tendría esta situación llevó a formar la Comisión Mundial de Desarrollo y Medio Ambiente de las Naciones Unidas, quienes en el año 1987 presentaron “Nuestro futuro común” o también conocido como el Informe Brundtland, exponiendo que: “(...) *está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias*” (Brundtland, 1987). Posteriormente la definición sería complementada durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro el año 1992, apelando a: “*mejorar la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan*” (Munro *et al.*, 1991).

Este informe formuló las bases para los posteriores estudios y debates sobre sostenibilidad, aseverando que para que exista un desarrollo sostenible se debe buscar la interacción armónica entre crecimiento económico, balance ecológico y progreso social, sin perder de vista la variable tiempo en la fórmula, de manera que no se comprometa el bienestar de futuras generaciones a costa del nuestro (Zarta, 2018).

John Elkington (1997) más tarde reinterpreta estas tres dimensiones de la sostenibilidad desde una perspectiva de gestión empresarial, lo que se conoce actualmente como el triple balance (en inglés, *Triple Bottom Line*) y las 3P de la sostenibilidad: Planeta, Personas, Prosperidad. Esto refuerza la idea que el éxito y salud de una empresa, nación o sistema no sólo puede ser medido por un balance financiero tradicional, sino que también por su desempeño, social, ético y ambiental (Figura 1).

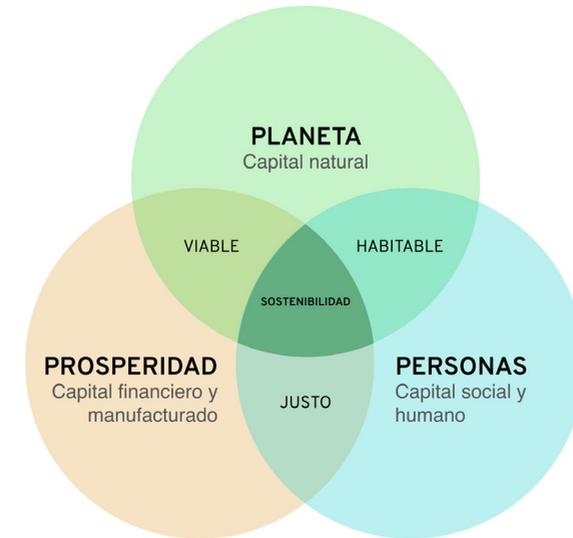


Figura 1
Las tres dimensiones de la sostenibilidad y su interacción.
Fuente: Adaptado de (Ashby, 2015).

El reconocimiento de la importancia del capital humano (Personas) y capital natural (Planeta) ha estimulado actividades que disminuyan el impacto negativo que tiene el crecimiento económico (Prosperidad) sobre éstas, particularmente en la disminución del consumo de recursos, la inequidad social y la emisión de gases tóxicos a la atmósfera (Ashby, 2015).

Según Michael F. Ashby (2015), ingeniero e investigador en el área de ciencia de los materiales: las actividades que contribuyen a solucionar problemas específicos en alguna dimensión del desarrollo sostenible (capital humano, financiero y natural) suelen tener consecuencias no intencionadas que podrían agudizar otro problema. Por ejemplo, un escenario donde los impuestos a las emisiones de CO₂ aumentaran drásticamente como medida para estimular una economía baja en carbono tendría como consecuencia el incremento en el precio de la energía. Asegurar un desarrollo sostenible requiere de una visión integral y sistemática del tiempo, la escala y la totalidad de las partes involucradas en cada uno de los objetivos.

La Asamblea General de las Naciones Unidas en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible presentó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), una serie de objetivos transversales, de aplicación universal y que se integran en las tres dimensiones de la sostenibilidad (ONU, 2015). Las consecuencias del cambio climático están intrínsecamente ligadas al desempeño de todos los ODS, razón por la cual durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP21) las naciones aprobaron un acuerdo para reducir el aumento de temperatura global por debajo de los 2°C, el llamado Acuerdo de París (ONU, 2015).

En Chile la sostenibilidad es un tema incipiente, durante la última década se ha trabajado en consolidar la institucionalidad ambiental a través políticas públicas y prácticas industriales más sostenibles, en el año 2016 se puso en marcha la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (MMA, 2016) y posteriormente el Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables 2017-2022, un plan de acción que tiene como objetivo establecer un marco de referencia dinámico para las iniciativas de los distintos sectores de la sociedad en alguna de las líneas de acción presentadas por el programa (Figura 2), haciendo posible el seguimiento de estas iniciativas y su vinculación con los ODS a nivel global (MMA, 2017).



Figura 2
Líneas de acción del Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables.
Fuente: Extraído de (MMA, 2017).

1.1. Modelos de desarrollo sostenible

La instauración del concepto de desarrollo sostenible motivó a investigadores de diversas áreas del conocimiento a formular metodologías, modelos de gestión y herramientas de validación que pudiesen responder a las inquietudes sociales, económicas y medioambientales, trazando las vías para alcanzar la sostenibilidad. El foco de intervención en relación a la degradación ambiental se ha desplazado desde acciones correctivas al final de la cadena a acciones que prevengan daños subsecuentes (Figura 3).

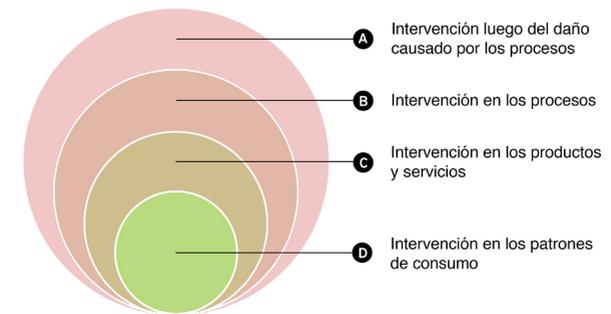


Figura 3
Niveles de intervención en respuesta a la degradación medioambiental.
Fuente: Elaboración propia basado en (Vezzoli *et al.*, 2018).

1.1.1. Ecología industrial

Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos (1989) introducen este concepto a partir del planteamiento de nuevas perspectivas para la producción industrial dada la creciente preocupación medioambiental. Los autores exploran la idea de entender el sistema industrial como un tipo de ecosistema, que, al igual que los ecosistemas naturales, contempla particulares flujos de energía, materiales e información (Erkman, 1997). La analogía del ecosistema industrial va aún más allá, al plantear que la industria necesita replicar el comportamiento de los ecosistemas naturales, es decir, operar como una compleja red de procesos donde todo lo producido es reincorporado a la cadena o utilizado por otra industria, minimizando la llegada de desechos al final de la cadena (Frosch & Gallopoulos, 1989).

El sistema productivo tradicional funciona con un flujo de energía y materiales (*inputs* o entradas) de tipo lineal, que apela a la extracción exhaustiva de recursos y la creación de productos, subproductos y desechos (*outputs* o salidas) en un flujo unidireccional (Jelinski *et al.*, 1992). La ecología industrial propone la transición de un sistema lineal a uno cíclico, donde los desechos son reutilizados como energía o materia prima para otro producto o proceso (Figura 4).

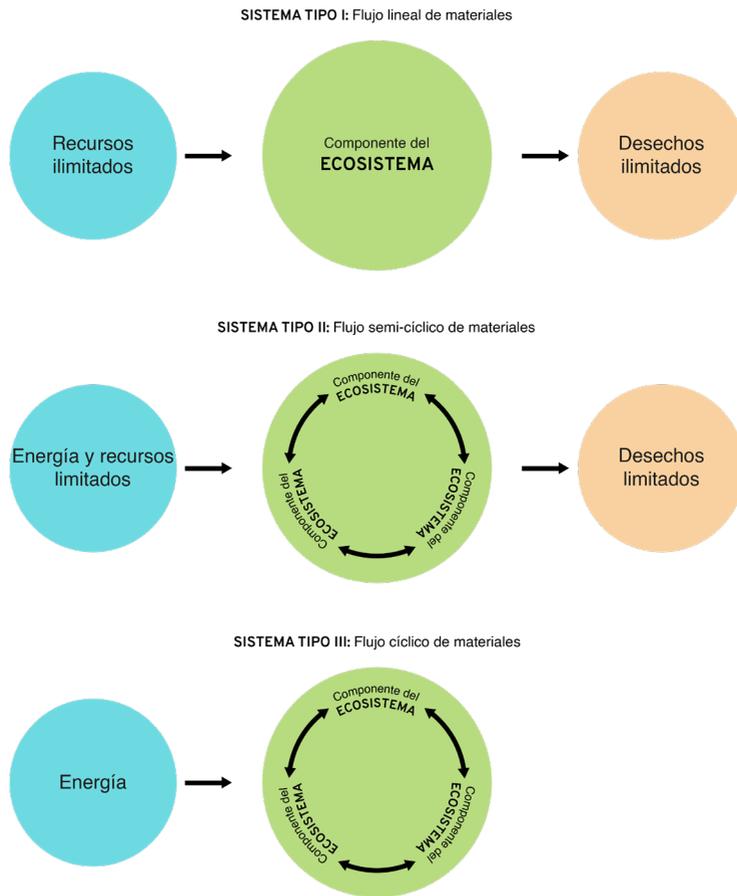


Figura 4
Flujo de materiales en el sistema industrial.
Fuente: Adaptado de (Jelinski *et al.*, 1992).

Desde el conocimiento de este balance entre energía y materiales, la ecología industrial se plantea a un nivel macro como un modelo de información para la toma de decisiones, valiéndose de herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida (en inglés, Life Cycle Analysis) para cuantificar y caracterizar la carga ambiental impuesta por los productos o procesos de una industria (Duchin & Hertwich, 2003).

Entender “recursos” y “desechos” como un mismo componente del ecosistema cierra la brecha entre los extremos de la cadena (Jelinski *et al.*, 1992; Allenby, 1992). El ideal del ecosistema industrial tipo III puede nunca alcanzarse en la práctica, pero es deber de fabricantes y consumidores el cambiar sus hábitos para aproximarse más a este (Frosch & Gallopoulos, 1989).

1.1.2. Diseño para la sostenibilidad

Hacia fines de la década de los 90s, los esfuerzos para alcanzar la sostenibilidad estaban encauzados en desarrollar herramientas y métodos que les permitieran a las industrias repensar el cómo diseñar y fabricar productos que pudiesen minimizar los daños medioambientales a la vez que garantizaran un beneficio económico y competitivo (Crul & Diehl, 2006). Desde esta línea surge el Diseño para la sostenibilidad como un enfoque práctico cuyo alcance y campo de acción se ha ampliado con el paso de los años, abarcando desde la selección de recursos de bajo impacto ambiental, el Diseño del Ciclo de Vida o el Ecodiseño de productos, el Diseño de Sistemas Producto-Servicio ecoeficientes y finalmente, el Diseño para la equidad social (Vezzoli & Manzini, 2008).

Este enfoque junto con considerar aspectos ambientales incorpora cuestiones sociales, éticas y de equidad. Su estrategia de innovación en el desarrollo de productos no sólo se basa en el ciclo de vida y la cadena de suministros, sino que a conciencia del entorno sociocultural, político, económico y geográfico, planteando nuevas oportunidades para mercados emergentes (Crul & Diehl, 2006; Reinders, Diehl & Brezet, 2012). Diversos autores lo definen a grandes rasgos como: “Una práctica de diseño, educación e investigación que, de una manera u otra, contribuye al desarrollo sostenible” (Vezzoli *et al.*, 2018).

1.1.3. Economía circular

A partir de lo expuesto por la ecología industrial y el aporte teórico de diversas escuelas de pensamiento como: el diseño regenerativo (Lyle, 1994), la economía del rendimiento (Stahel, 2010) y de la cuna a la cuna (McDonough & Braungart, 2002), la economía circular surge como una visión unificadora que busca cerrar el ciclo de vida de los productos mediante un flujo regenerativo o restaurativo de las materias primas.

Desde la perspectiva del manejo de flujos de materiales en la economía circular, McDonough & Braungart (2002) establecen dos categorías para los componentes de un producto: los nutrientes biológicos o consumibles, aquellos componentes no tóxicos que al terminar su vida útil se reincorporan a la biósfera, y los nutrientes técnicos o durables, productos diseñados para ser desensamblados y reutilizar sus componentes en algún punto de la cadena (Figura 5). La Fundación Ellen MacArthur (2013), actor importante en la transición desde un modelo lineal a una economía circular en la comunidad europea, propone una serie de principios clave que sustentan el modelo:

En primera instancia, la economía circular apunta a eliminar los desechos y la contaminación a través del rediseño y la optimización de los ciclos de materiales, donde los nutrientes biológicos son compostados o degradados mediante digestión anaeróbica y los nutrientes técnicos son diseñados para ser desensamblados, reacondicionados y mejorados, para de esta manera controlar las reservas de recursos finitos y preservar el capital natural. En segundo lugar, es indispensable optimizar el uso de los recursos, es decir, mantener los productos, componentes y materiales circulando constantemente dentro de los ciclos técnicos y biológicos, reteniendo durante el mayor tiempo posible su valor en la cadena. Por último, la economía circular busca promover un sistema eficaz al momento de detectar y eliminar los factores externos negativos existentes en los diseños y procesos industriales, reduciendo los daños al uso humano y gestionando temas como la contaminación atmosférica, el uso de suelos, la emisión de sustancias tóxicas y el cambio climático (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

En definitiva, los modelos de desarrollo sostenible concebidos en las últimas décadas dan cuenta de que replantear los productos, servicios, y procesos a través del diseño industrial es indispensable para la implementación de estrategias de consumo y producción sostenibles (Jelinski *et al.*, 1992; Crul & Diehl, 2006). El diseño ha tomado un rol importante en ésta transición al ampliar sus márgenes de acción y al hacer énfasis en la participación social y la innovación como motor de los cambios sistemáticos hacia la sostenibilidad (Vezzoli *et al.*, 2018).

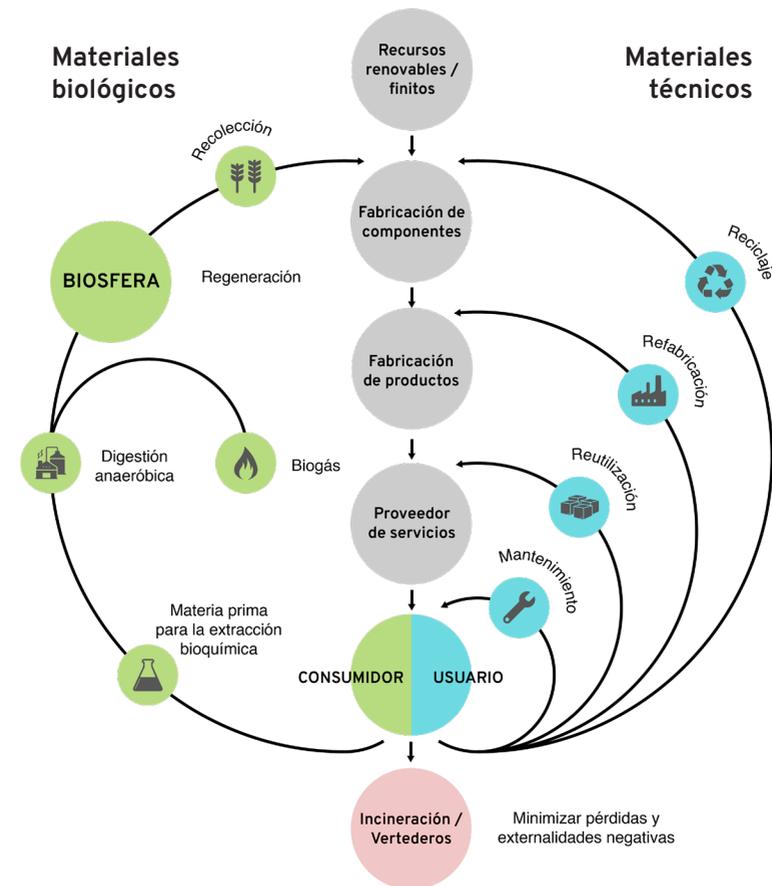


Figura 5
Diagrama del flujo de valor en la economía circular.
Fuente: Adaptado de (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

1.2. Criterios de sostenibilidad

Se entiende por criterios de sostenibilidad como los lineamientos o directrices por los cuales se debe desarrollar un material de bajo impacto ambiental, valiéndose de las herramientas planteadas en este capítulo. La **Tabla 1** presenta criterios de diseño abordados por diversos autores en el ámbito de la sostenibilidad, las casillas resaltadas indican su área de incidencia en las tres dimensiones del desarrollo sostenible.

Tabla 1: Resumen de los criterios de sostenibilidad

Criterios de sostenibilidad			
Origen natural	Ambiental	Social	Económico
Proveniente de fuentes renovables	Ambiental	Social	Económico
Materia prima local	Ambiental	Social	Económico
Manufactura local	Ambiental	Social	Económico
Utilización de residuos	Ambiental	Social	Económico
Material biodegradable o reciclable	Ambiental	Social	Económico
Eficiencia energética	Ambiental	Social	Económico
Material inocuo a la salud	Ambiental	Social	Económico
Eliminación de subproductos	Ambiental	Social	Económico

Fuente: Elaboración propia basado en (Ashby & Johnson, 2002; Frosch & Gallopoulos, 1989; Karana *et al.*, 2014; Sachs *et al.*, 2002; Sachs & Santarius, 2007; Vezzoli, 2010)

a) Origen natural y proveniente de fuentes renovables

Materiales de origen natural son generalmente menos perjudiciales para el medioambiente que los de origen sintético, sin embargo, si no existe una gestión y política de conservación en la extracción de estas materias primas se puede llevar a la pérdida de hábitat y consecuencias medioambientales a gran escala.

“Un recurso es renovable o sostenible sólo si su ritmo de consumo/adquisición es menor al ritmo de crecimiento natural” (Vezzoli, 2010).

b) Materia prima y manufactura local

Trabajar con materiales extraídos y manufacturados localmente trae beneficios tanto ambientales como socioeconómicos, disminuye las distancias de transporte y por consecuencia las emisiones de gases invernadero, fomenta las economías locales, revalorizando el producto nacional y disminuye la cantidad de importaciones.

“Se ha observado que cuando los materiales están basados localmente, los actores socioeconómicos locales involucrados en la extracción, transformación y venta de materiales prestan mucha más atención a preservar su capacidad de renovación” (Sachs *et al.*, 2002; Sachs & Santarius, 2007).

c) Utilización de residuos

Se busca minimizar la generación de nuevos residuos apelando a un flujo cíclico de los materiales a lo largo de la cadena, revalorizando los residuos al convertir los *outputs* o subproductos de una cadena productiva en los *inputs* o sustento de otro (o el mismo) proceso, producto o material.

“Un proceso que produce cantidades relativamente grandes de desechos que pueden ser usados en otro proceso puede ser preferible a uno que produce cantidades pequeñas de desecho para las cuales no hay uso” (Frosch & Gallopoulos, 1989).

d) Material biodegradable o reciclable

Desarrollar un material orgánico que sea capaz de reintegrarse eficazmente como materia prima para nuevos procesos/ productos o reingresar a la cadena productiva del mismo material, asimismo, acelerar la descomposición del material y su inocua reincorporación al medioambiente.

“Es importante que los materiales se puedan reintegrar a los ecosistemas, sin embargo, para muchos productos, los materiales biodegradables pueden significar un problema en el sentido de una fecha de expiración prematura”
(Vezzoli, 2010).

e) Incrementar la eficiencia energética

La utilización eficiente de recursos energéticos (preferiblemente de fuentes renovables) en los procesos productivos trae consigo beneficios tanto ambientales como económicos.

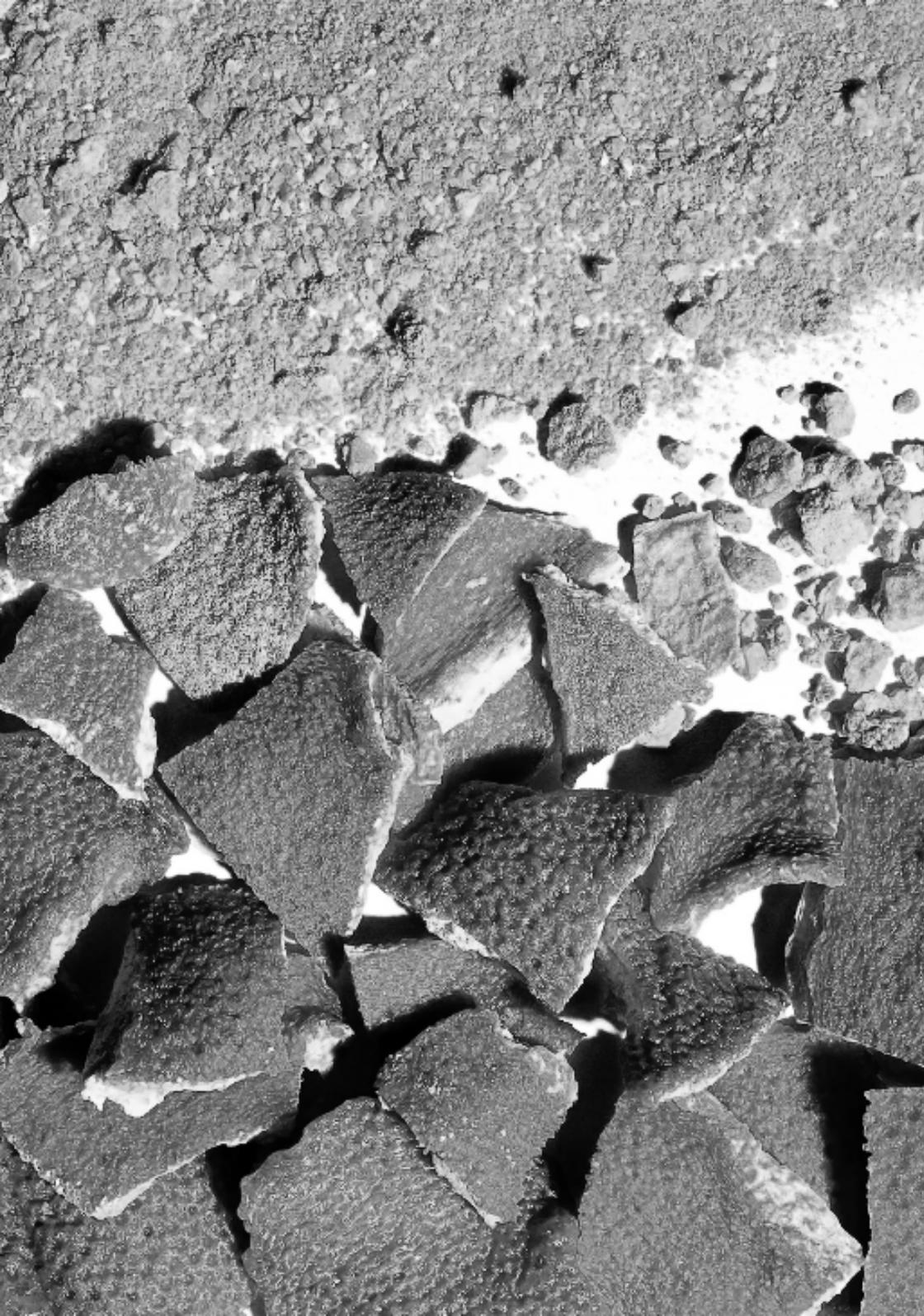
“Es posible disminuir el gasto energético mediante sistemas de transporte de diseño ligero, optimizando la gestión térmica de los edificios e incrementando la eficiencia en la conversión y utilización de energía en la industria”
(Ashby & Johnson, 2002).

f) Eliminación de materiales tóxicos y subproductos

Eliminar el uso de materiales tóxicos que impliquen un riesgo a la salud humana y de los ecosistemas a lo largo de la cadena productiva y el ciclo de vida del producto demanda al diseñador el conocimiento de la normativa vigente y de principios generales de precaución.

“Las decisiones tomadas para minimizar las emisiones peligrosas también deben tener en consideración los procesos de producción, la transformación de materiales, las estructuras de distribución y los tratamientos al final de la vida útil”
(Karana et al., 2014).





2 Cáscara de naranja y otros cítricos como materia prima

La naranja es un fruto carnoso de color anaranjado perteneciente a la familia de las rutáceas (*Rutaceae*) y al género *Citrus*, del cual también forman parte otros frutos como la mandarina, clementina, pomelo, limón y lima. De variedades dulces, ácidas o amargas, los cítricos no sólo son valorados por su distintivo sabor, sino que también porque poseen un amplio rango de componentes nutricionales beneficiosos para la salud humana.

El primer ancestro común de estas especies se remonta al mioceno tardío (entre 11 a 5 millones de años A.C.) en las regiones tropicales y subtropicales del sur de Asia extendiéndose hasta el territorio australiano (Wu *et al.*, 2018), posteriormente con las migraciones humanas, rutas comerciales y la colonización del territorio americano, estas especies proliferarían alrededor del planeta en regiones templadas, principalmente entre los paralelos 30° y 40° de ambos hemisferios, adquiriendo las mejores condiciones de crecimiento en temperaturas entre los 23-27°C y temperaturas de reposo cercanas a los 6°C para desarrollar óptimamente la acidez y coloración del fruto (Janick, 2005).

Con más de 140 países productores, los cítricos se han consolidado como uno de los cultivos de mayor importancia comercial a nivel mundial. En la actualidad su producción supera los 120 millones de toneladas de fruta fresca al año (FAO, 2017) y cerca de 25 millones de toneladas del total son utilizadas para la elaboración de productos procesados como concentrados de jugos, conservas y enlatados (Talon *et al.*, 2020).

Si bien la industria de procesados sólo supone cerca de la quinta parte de la producción total, este es el único canal por el cual es posible llevar un catastro del volumen total del residuo (cáscara y remanentes de pulpa, membrana y semillas), ya que cuando el fruto se distribuye en mercados locales su desecho comúnmente pasa a ser una parte más del contenido orgánico de los vertederos. En este sentido, es preciso ahondar en la industria frutícola chilena y su impacto para conocer la escalabilidad de la problemática.

2.1. Industria frutícola de cítricos en Chile

Chile, en el extremo occidental de Sudamérica, con alrededor de 4.200 kilómetros de longitud continental, goza de una gran diversidad agroclimática y de suelos que hacen posible el desarrollo de una amplia variedad de cadenas productivas vinculadas al sector silvoagropecuario en las cerca de 4,1 millones de hectáreas de superficie nacional plantada o sembrada (CONICYT, 2007; ODEPA, 2019).

La industria frutícola del país es un sector en constante crecimiento. La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2019) contabiliza a la fecha cerca de 320 mil hectáreas de cultivo y la cifra estimada de 570 mil empleos generados en torno al rubro frutícola, siendo 85% de carácter temporal. El amplio desarrollo del sector en los últimos 20 años ha posicionado a Chile como un actor reconocido de la industria frutícola mundial, cuya fiabilidad en el cumplimiento de la normativa sanitaria internacional, variada oferta de especies frutales de exportación y favorables condiciones geográficas ha permitido la consolidación de acuerdos comerciales con 65 países, siendo un gran proveedor de frutas de contraestación a países del hemisferio norte.

Chile no destaca particularmente en la producción y exportación de frutos cítricos, en la actualidad se ubica en décimo lugar del ranking de productores del hemisferio sur (FAO, 2017) y entre los países sudamericanos compite en la oferta de frutas de contraestación con grandes conglomerados frutícolas como el brasileño y el argentino. Pese a ello, es una industria que ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, principalmente el mercado de naranjas y mandarinas, productos agrícolas de mucha demanda y amplia disponibilidad a lo largo del año, cuyas variedades tempranas, de media estación y tardías aseguran cosechas entre los meses de mayo y noviembre (ASOEX, 2014). En este sentido, con el fin de reforzar la industria chilena de cítricos tanto a nivel local como internacional, se han estructurado asociaciones de productores y exportadores como el Comité de Cítricos de Chile, conglomerado que hoy representa el 75% de las exportaciones de cítricos del país, principalmente destinados a Estados Unidos (Comité de Cítricos, s.f.).

En el contexto mundial, el mercado de producción y exportaciones de cítricos es liderado por China, Brasil y Estados Unidos. La participación de Chile sólo significó un 0,25% sobre el total de frutos cítricos producidos durante el año 2018 (FAOSTAT, 2020), sin embargo, su rendimiento (kilogramos por hectárea) está muy a la par con las cifras promedio del continente americano.

La gráfica presentada en la Figura 6 muestra la evolución del mercado de cítricos en términos de producción y rendimiento entre los años 2008 y 2018.

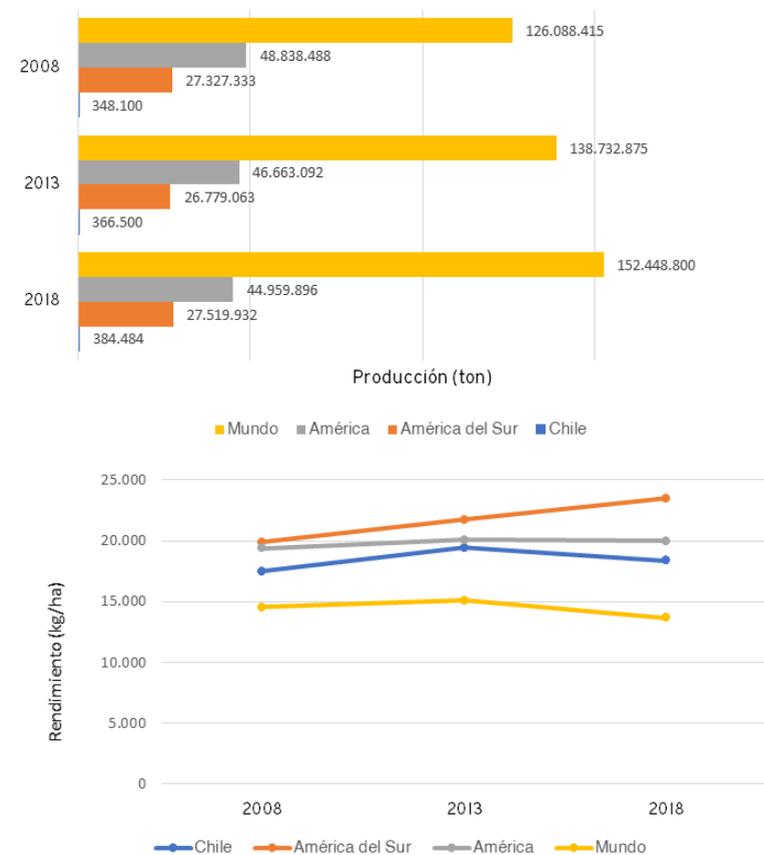


Figura 6
Producción y rendimiento de cítricos en Chile y el mundo.
Fuente: Elaboración propia basado en la data de (FAOSTAT, 2020)

2.1.1. Catastro nacional de frutos cítricos

Los catastros frutícolas son investigaciones realizadas por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) en conjunto con la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) que reúnen información sobre la superficie plantada, producción, infraestructura agrícola y agroindustria, con el fin de evaluar la evolución, proyección y estado de desarrollo frutícola local.

La **Tabla 2** detalla las hectáreas de superficie agraria destinadas al cultivo de frutos cítricos con la información disponible en los catastros frutícolas realizados entre 2018 y 2020.

Tabla 2: Hectáreas de cultivos de cítricos en Chile

Catastro región	Especies				
	Lima	Limonero	Mandarino	Naranja	Pomelo
XV 2019	37,9	8,27	14,9	20,4	1,5
I 2019	64,3	-	0,03	41,6	3,7
III 2018	1,2	34,5	71,7	31,2	-
IV 2018	10,1	1.437,3	3.783,8	779,3	6,7
V 2020	6,9	2.021,5	2.321,4	1.186	66
R.M. 2020	4,1	3.302,5	1.005	2.506,4	94,7
VI 2018	3	580,8	1.245,5	1.758,2	78,7
VII 2019	-	4,3	1,1	2,5	-
XVI 2019	-	0,4	0,2	0,4	-
VIII 2019	-	0,2	-	-	-
Total	127,5	7.389,8	8.443,7	6.326	251,3

Fuente: Elaboración propia basado en (CIREN, 2020)

Tabla 3: Hectáreas de cultivos de cítricos en la R.M.

Catastro provincia	Especies				
	Lima	Limonero	Mandarino	Naranja	Pomelo
Santiago	-	-	-	6,5	-
Chacabuco	-	10,4	120,7	83,1	-
Maipo	0,5	12,9	142,3	133,4	74,9
Melipilla	3,6	2.817,6	583,5	2.162,1	2,6
Talagante	-	461,6	158,5	121,3	17,2
Cordillera	-	-	-	-	-
Total	4,1	3.302,5	1.005	2.506,4	94,7

Fuente: Elaboración propia basado en (CIREN, 2020)

La información recabada en los informes regionales del CIREN (2018; 2020) da cuenta de que la mayor concentración de árboles frutales cítricos se encuentra entre las macrozonas Centro y Centro-Sur, correspondiendo a un 97% de las 384.484 toneladas producidas e informadas durante el año 2018.

La región Metropolitana de Santiago (R.M) es la región con mayor superficie de cultivos de cítricos de Chile, siendo la provincia de Melipilla una de las más grandes en este ámbito a nivel país. La producción informada por los predios agrícolas de la región tiene cuatro destinos posibles tal como se explicita a continuación.

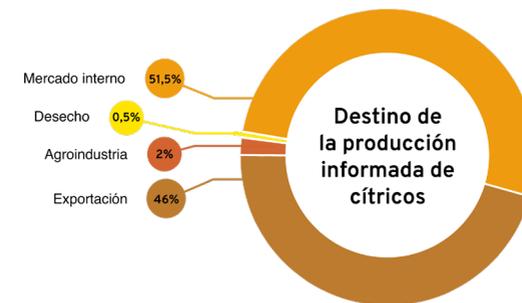


Figura 7

Destino de la producción informada de cítricos.

Fuente: Elaboración propia basado en la data de (CIREN, 2020)

Más del 50% de la producción de cítricos está destinada a abastecer el mercado interno o nacional, es decir, cadenas de supermercados, mercados mayoristas, ferias libres, particulares, entre otros. La otra mitad de la producción está compuesta por la fruta fresca de exportación, la fruta destinada a la agroindustria y la fruta descartada durante los filtros de calidad.

En el ámbito de la agroindustria hortofrutícola, la ODEPA registra cinco establecimientos procesadores de frutos cítricos en las cercanías de Santiago (Tabla 4), con un total de nueve establecimientos a nivel país. Las líneas de producción de estas empresas comprenden desde la elaboración de jugos, pulpas y mermeladas hasta fruta congelada o deshidratada, principalmente dedicadas al procesamiento de la naranja.

Tabla 4: Empresas procesadoras en cercanías de Santiago (R.M.)

Ubicación			Empresa	Especie	Proceso
Región	Provincia	Comuna			
V	Petorca	La Ligua	Sociedad Agrícola Industrial Comercial Artificio de Pedegua S.A.	Limón Naranja	Congelados
V	Valparaíso	Casablanca	Tresmontes S.A.	Naranja	Pulpas
R.M.	Maipo	Buín	Diana Food Chile S.P.A.	Naranja	Deshidratados
R.M.	Maipo	Buín	Mickelsen S.P.A.	Naranja	Mermeladas
R.M.	Talagante	Talagante	Santiago Agrisupply S.P.A.	Limón Naranja	Congelados

Fuente: Elaboración propia basado en (ODEPA, 2018)

El catastro frutícola del CIREN (2020) deja en evidencia el déficit en infraestructura agroindustrial dedicada al procesamiento de frutos cítricos en Chile, con sólo un 2% de la producción destinada a esta área a diferencia de otros frutos como la nuez de nogal, la ciruela o la manzana verde, cuyo porcentaje en este aspecto es superior al 50% de la producción total.

A fin de ahondar en la gestión de residuos orgánicos a nivel industrial, se revisaron los reportes de sostenibilidad de diversas empresas del rubro agrícola nacional y sudamericano.

2.1.2. Gestión de residuos orgánicos

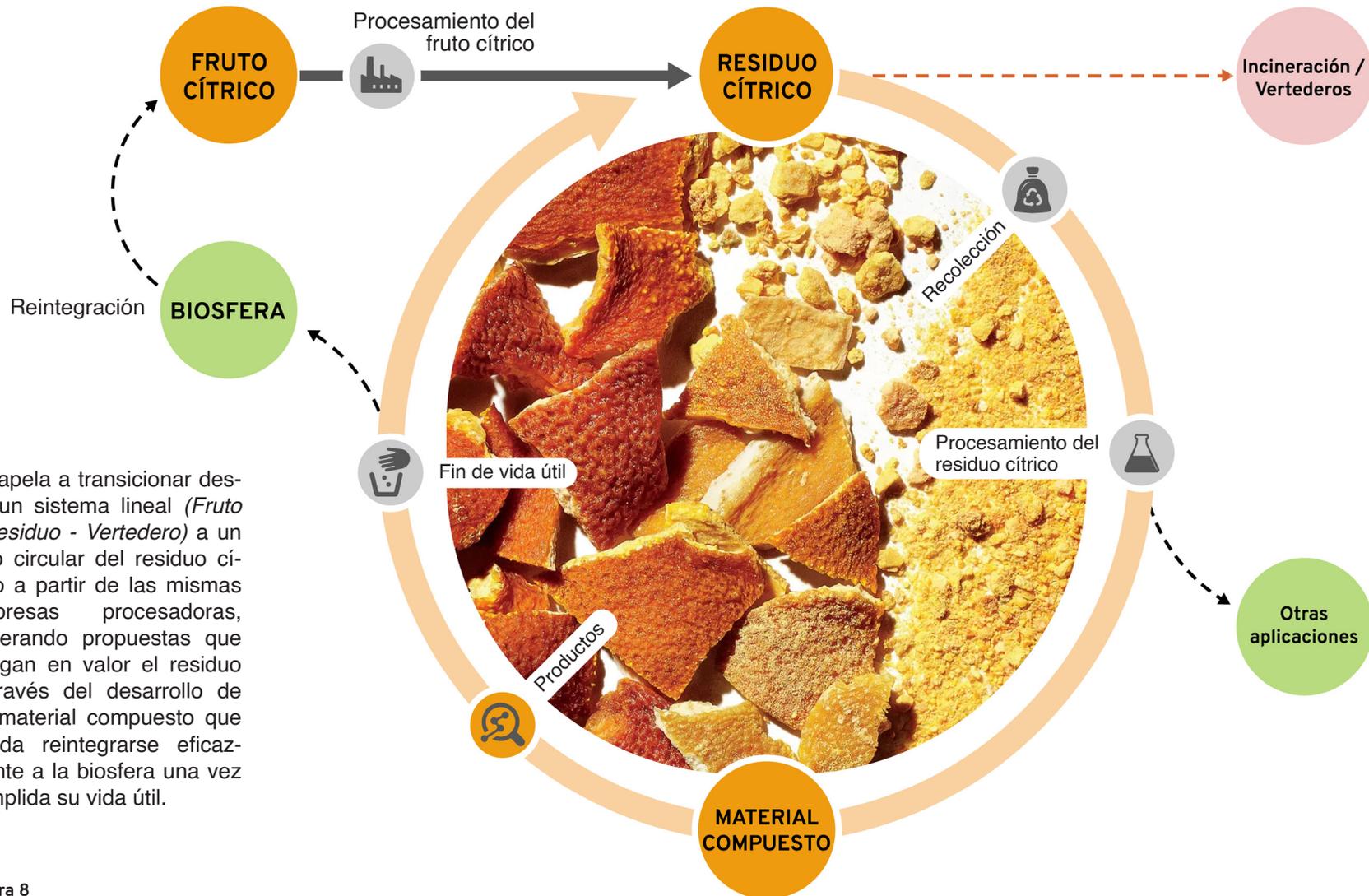
Las disposiciones generales del MMA (2016; 2020) establecidas en la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP) y la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) sostienen que avanzar en la prevención y gestión de residuos orgánicos es una prioridad como política pública. En la actualidad la tasa de valorización de los residuos orgánicos es menor al 1% del total de toneladas generadas cada año, siendo la disposición en rellenos sanitarios el destino más común, esta situación tiene un alto impacto ambiental e implica un potencial riesgo para la salud de las personas debido al proceso de descomposición anaeróbica, la emisión de gases invernadero y los lixiviados.

La información recabada de los reportes de sostenibilidad de las empresas procesadoras de cítricos se encuentra detallada en el anexo 1. Se puede concluir con estos informes que las empresas consultadas ponen especial énfasis en la eficiencia energética y la disminución del consumo de agua, mientras que la gestión de residuos parece ser una temática relativamente nueva en sus políticas de sostenibilidad. No se especifica sobre el residuo cítrico, ya que los restos sólidos orgánicos son gestionados como un todo uniforme: un gran porcentaje es destinado a rellenos sanitarios o utilizado como abono y en menor medida son procesados como alimento animal o derivados al compostaje o incineración. No hay información respectiva a la revalorización del residuo para otros fines que no sean los indicados anteriormente.

En definitiva, los subproductos derivados de la agroindustria hortofrutícola se presentan como una opción mucho más viable que la recolección de residuos cítricos domésticos. La posibilidad de formular alianzas estratégicas con empresas procesadoras permitiría contar con un flujo permanente de materia prima, de volumen cuantificable y de un mismo origen.

Bajo los principios de la economía circular propuestos por los autores abordados en el capítulo anterior, la Figura 8 esquematiza el flujo de materiales biológicos a lo largo de la cadena de suministro para la revalorización del residuo cítrico.

SISTEMA TIPO III: Flujo circular del residuo de naranja y otros cítricos



Se apela a transicionar desde un sistema lineal (*Fruto - Residuo - Vertedero*) a un flujo circular del residuo cítrico a partir de las mismas empresas procesadoras, generando propuestas que pongan en valor el residuo a través del desarrollo de un material compuesto que pueda reintegrarse eficazmente a la biosfera una vez cumplida su vida útil.

Figura 8

Esquema circular de revalorización de los residuos cítricos.
Fuente: Elaboración propia basado en (McDonough & Braungart, 2002; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Bátori, 2019).

2.2. Estructura y composición del fruto cítrico

La naranja, así como también los otros frutos pertenecientes al género *Citrus* son referidos en botánica como hesperídios, según la Real Academia Española: “Fruto carnoso de cubierta gruesa, dividido en varias celdas por telillas membranosas”. La piel o cáscara de estos frutos recibe el nombre de pericarpio y está dividida en tres segmentos:

- A** Exocarpo o flavedo, la capa exterior de la cáscara que contiene glándulas de aceites esenciales y las células que le dan la pigmentación característica al fruto, de aspecto y tacto semejantes al cuero.
- B** Mesocarpo o albedo, la capa intermedia de la cáscara que contiene celulosa, hemicelulosa y las mayores concentraciones de pectina en el fruto, de color blanco y textura esponjosa.
- C** Endocarpo, membrana delgada al interior de la cáscara que se segmenta en una serie de celdas o vesículas jugosas que contienen la pulpa o sustancia carnosa y las semillas.

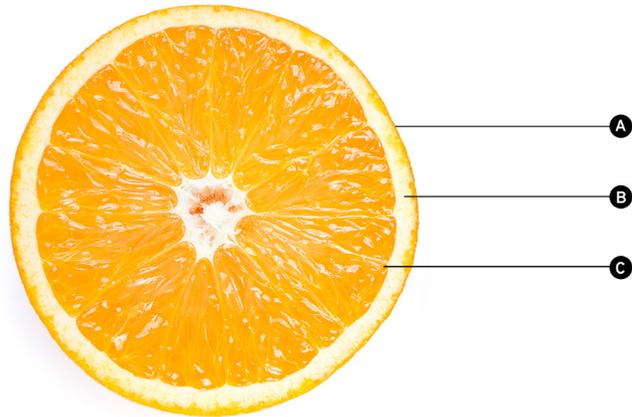


Figura 9
Los tres segmentos de los hesperídios.
Fuente: Fotografía adaptada de (www.freepik.es)

La cáscara de los cítricos representa entre el 25-40% de la masa total del fruto fresco (Shan, 2016; Bátori, 2019) y está compuesta aproximadamente de un 80% de agua (Bátori *et al.*, 2017), con estos porcentajes en consideración y las cifras de producción de la FAO (2017), es posible estimar un volumen de residuo agroindustrial anual de 1,6 millones de toneladas de materia orgánica seca.

La investigación de Pathak *et al.* (2017) establece un marco referencial acerca de la composición y caracterización física de algunas especies de frutos cítricos:

Tabla 5: Composición de la cáscara de cítricos (%)

Componentes	Especies		
	Naranja	Limón	Lima
Celulosa	9,21	23,1	20,8
Hemicelulosa	10,5	8,09	17,2
Lignina (LDA)	0,84	7,6	8,9
Azúcares totales	16,9	6,5	21,6
Proteína	6,5	7	s/registro
Pectina	42,5	13	14,2
Ceniza	3,5	2,5	3

*Polifenoles, lípidos y otros extractos completan el resto de la composición.

Fuente: Pathak *et al.*, 2017

Tabla 6: Caracterización física la cáscara de cítricos

Parámetros	Especies		
	Naranja	Limón	Lima
Densidad aparente (g/cc)	0,53	0,49	0,38
Densidad de partículas (g/cc)	0,89	0,98	1,06
Porosidad (%)	41,13	48,97	63,91
Absorción de agua (ml/g)	5,4	5,9	6,7

Fuente: Pathak *et al.*, 2017

2.2.1. Componentes relevantes para el desarrollo del material

La revisión bibliográfica da cuenta del potencial de las cáscaras de cítricos como materia prima, en particular la cáscara de naranja, cuya composición rica en polisacáridos como la pectina, celulosa y hemicelulosa resulta sumamente interesante para el desarrollo de nuevos materiales biobasados.

a) Pectina

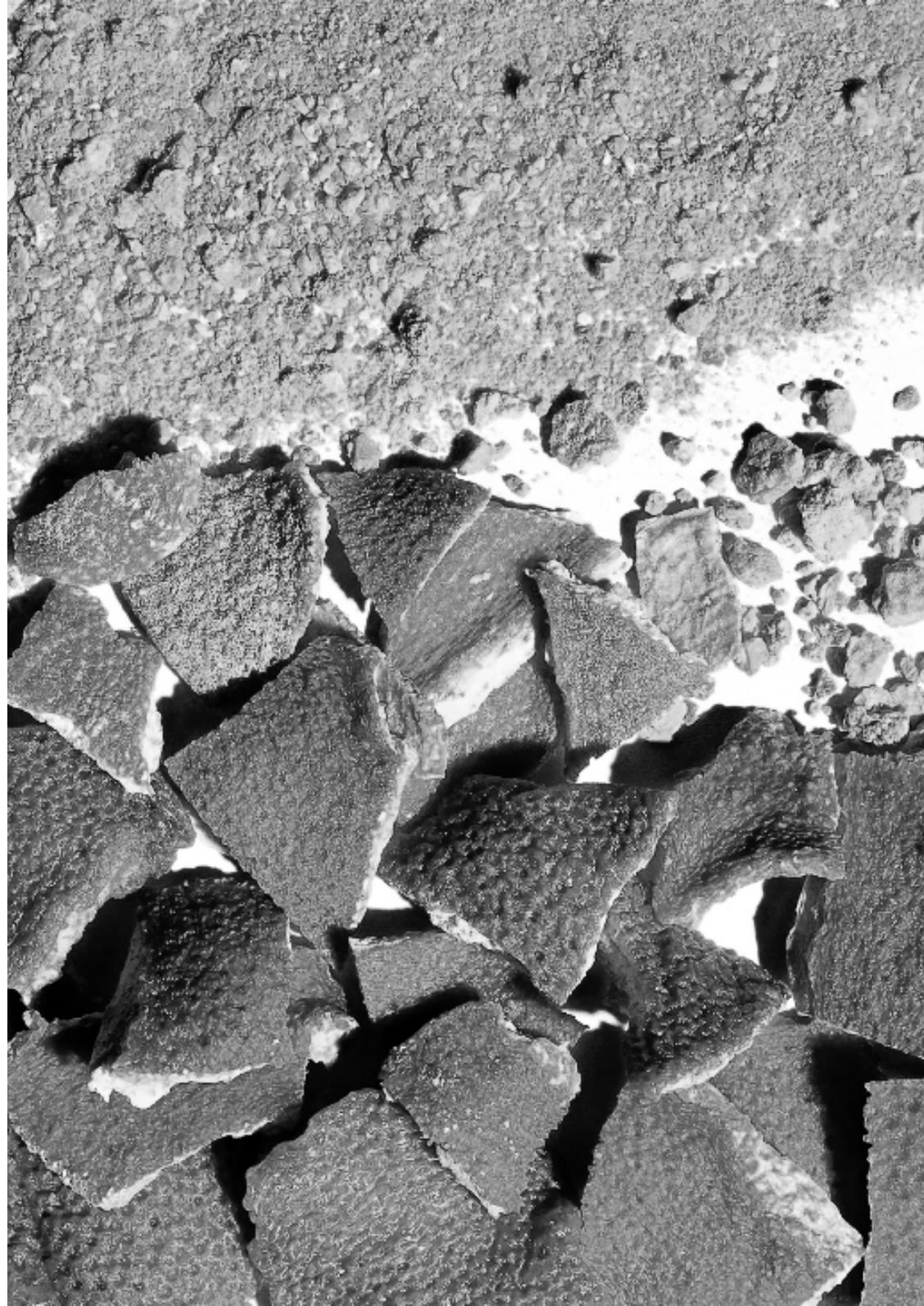
La pectina es un polímero natural presente en las paredes celulares de las plantas, se halla principalmente en la manzana y frutos cítricos, en estos últimos representa entre un 20-30% del contenido seco de sus cáscaras. Entre sus características generales están sus propiedades de hidrocoloide, es decir, que actúa como agente espesante, estabilizante y gelificante si se dispersa en una solución acuosa (Shan, 2016; Bátori, 2019).

Los usos más recurrentes de este polímero son en la industria alimentaria, utilizado como aditivo para otorgar consistencia a jaleas, mermeladas y jugos o también como estabilizador en productos cosméticos y farmacéuticos.

b) Celulosa, hemicelulosa y lignina

La materia lignocelulósica de las cáscaras de cítricos representa cerca del 50-60% del contenido seco y corresponde en su mayoría a fibra dietética insoluble (Shan, 2016). Al igual que la pectina, estos polisacáridos estructurales poseen una naturaleza higroscópica que los hace muy susceptibles a los cambios en la humedad atmosférica (Bátori, 2019).

Debido a que estos tres componentes representan un gran porcentaje de la materia prima a utilizar, su función en la conformación del material compuesto será la de agente reforzante.





3 Perspectivas hacia el desarrollo de nuevos materiales

Dado el panorama global de crisis medioambiental y social, resulta apremiante encontrar nuevas alternativas de producción más sostenibles a la par de un cambio en los patrones de consumo de la sociedad, de lo contrario la creciente y continua demanda de recursos, materias primas y productos no dará abasto en un futuro cercano. En este sentido, las ciudades y las industrias son una fuente importante de recursos valiosos para ser reincorporados a las cadenas productivas (Peters, 2014).

La tendencia hacia el desarrollo de productos sostenibles ha planteado el desafío de vincular las problemáticas de nuestra cultura material a la forma en que los productos deben ser concebidos y manufacturados, esto resulta especialmente importante en el diseño, la arquitectura y otras industrias creativas que hoy buscan soluciones desde un enfoque sistémico que incorpora diseño, investigación y tecnología (Peters, 2014).

Los progresivos avances tecnológicos y las redes de información en esta era digital han potenciado el campo de investigación en torno a los materiales en el diseño, acortando la brecha científica que comúnmente se creía existente a la hora de desarrollarlos, pudiendo ser abordados hoy desde un enfoque iterativo de exploración material que crea nuevos conocimientos a través del juego, la experimentación y la experiencia sensorial (Resnick & Rosenbaum, 2013; Kääriäinen *et al.*, 2020).

Estas emergentes nociones en el desarrollo de materiales desde medios no tradicionales han dado forma a lo que algunos autores definen como materiales DIY (del inglés: *Do It Yourself*, hazlo tú mismo/a), un movimiento que revaloriza la práctica artesanal y la fabricación propia, sustentado en la democratización de las tecnologías y la autonomía a los medios de producción tradicionales (Tanenbaum *et al.*, 2013). Rognoli, Bianchini, Maffei y Karana (2015) definen los materiales DIY como: “*materiales creados mediante prácticas de fabricación individuales o colectivas, a menudo a partir técnicas y procesos inventados por el diseñador*”.

A fin de integrar los diversos lenguajes presentes en los materiales DIY, Ayala-García (2019) categoriza cinco reinos a partir del origen de sus componentes: *Vegetabile, Animale, Lapideum, Recuperavit* y *Mutantis*.

Si bien la aproximación metodológica en la elaboración de materiales DIY es distinta para cada caso, una línea procedimental que ha tomado relevancia en el desarrollo de materiales del reino *Recuperavit* es la fabricación de biocompuestos basados en residuos utilizando recetas y herramientas de cocina, método definido para este fin como *Cook It Yourself* (cocínalo tú mismo/a).

En definitiva, la propuesta metodológica presentada en esta investigación toma como referente directo al *Cook It Yourself*, trabajando sobre la base de recetas compartidas para este mismo fin e iterando desde ese punto. Es preciso entonces profundizar en la interacción de las materias primas que componen el material.

3.1. Materiales compuestos

Se entiende por material compuesto como la unión de dos o más materiales que al combinarse forman uno con propiedades que por separado no tenían, siendo entonces el conjunto mejor que la suma de sus partes (Baillie & Vanasupa, 2003). En los materiales compuestos se pueden distinguir dos componentes o fases, la matriz o fase continua y el refuerzo o fase discontinua.

El componente matriz es aquel que brinda cohesión y estabilidad al conjunto, transfiriendo las cargas al refuerzo y protegiéndolo del deterioro mecánico y químico del ambiente exterior. Existen tres tipos: matriz polimérica, matriz metálica y matriz cerámica.

Por otra parte, el refuerzo se encuentra contenido por la matriz y absorbe las tensiones aplicadas, incrementando la rigidez y resistencia del conjunto. Comúnmente se utilizan refuerzos de partículas, fibras o láminas, formato que determina si el compuesto resultante posee una naturaleza anisotrópica o isotrópica, es decir, si sus propiedades varían o no según la dirección en la que se evalúa el material (Baillie & Vanasupa, 2003).

El material propuesto en esta investigación está conformado por un refuerzo de partículas (material particulado de cáscaras de cítricos) de un tamaño menor a 18 mesh (1 mm) y una matriz polimérica (material aglutinante derivado de un polímero), lo que lo clasificaría como biocompuesto o material compuesto biobasado.

El término biocompuesto es utilizado para definir un material compuesto de tres diferentes orígenes: bioplástico reforzado por un material sintético, plástico sintético con un refuerzo natural o bioplástico reforzado con fibras/rellenos naturales, este último también se le conoce como “compuesto verde” (Bátori, 2019).

El esquema de la **Figura 10** agrupa tanto plásticos sintéticos como bioplásticos en función de su origen y capacidad de biodegradación. En vista de los criterios planteados al comienzo de la investigación, la revisión de aglutinantes a experimentar se acotará a los polímeros que se encuentran en la intersección entre biobasado y biodegradable.

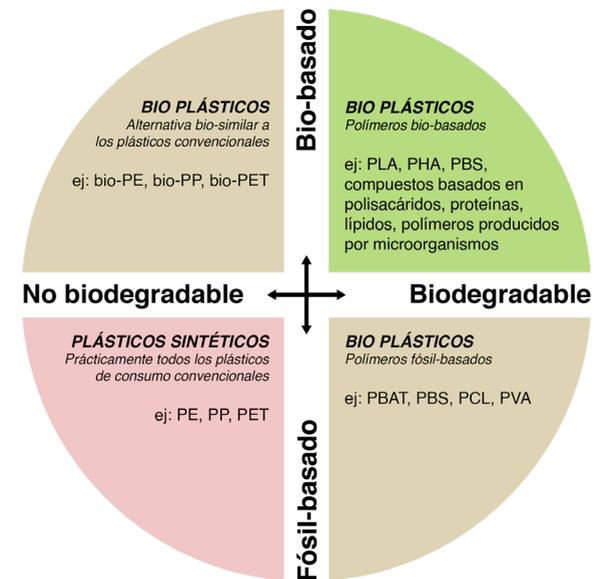


Figura 10
 Clasificación de polímeros según origen y biodegradabilidad.
 Fuente: Adaptado de (Bátori, 2019).

3.1.1. Revisión de aglutinantes

Los aglutinantes abordados en la **Tabla 7** se extraen de bibliografía referente a materiales DIY, particularmente de metodologías para materiales que se cocinan (*Cook It Yourself*) y recetas disponibles en bibliotecas de materiales de diseño abierto. Estos corresponden a matrices poliméricas biobasadas, biodegradables y derivadas de hidrocoloides.

Tabla 7: Revisión de aglutinantes a experimentar

Aglutinante	Origen	Tipo	Consideraciones generales	Consideraciones particulares
Agar-agar	Vegetal (<i>Protista</i>) Algas rojas	Polisacárido	<p>La principal característica de los hidrocoloides es su afinidad con el agua, como resultado, los materiales compuestos que incorporan estos aglutinantes son sumamente higroscópicos, siendo muy propensos a modificar su forma al captar la humedad ambiental.</p> <p>Su capacidad de retener agua implica también una significativa contracción del material durante el proceso de secado, lo que puede significar el encogimiento o incluso la rotura de las muestras.</p> <p>Las condiciones de gelificación dependen de cada tipo de hidrocoloide, aunque comúnmente implica disolverlos en altas temperaturas. Además, es posible generar geles reversibles o irreversibles según el tipo de enlace que une a las sustancias contenidas.</p> <p>La baja resistencia al agua los hace aglutinantes idóneos para una rápida degradación en condiciones de alta humedad.</p>	Soluble en agua a 85-90° C, de rápida solidificación al disminuir la temperatura de la mezcla. Proceso reversible al someterlo en calor nuevamente.
Carragenina	Vegetal (<i>Protista</i>) Algas rojas	Polisacárido		Soluble en agua a 80° C, de rápida solidificación al disminuir la temperatura mezcla. Proceso reversible al someterlo en calor nuevamente.
Alginato	Vegetal (<i>Protista</i>) Algas pardas	Polisacárido		Forma geles irreversibles, además, requiere de una fuente de calcio para su gelificación, por ejemplo, carbonato de calcio.
Almidón de maíz	Vegetal (<i>Plantae</i>) Maíz	Polisacárido		El aglutinante más económico y de mayor disponibilidad, las recetas incorporan otros reactivos como vinagre y bicarbonato de sodio.
Quitina	Animal Crustáceos	Polisacárido		Es el más escaso de los aglutinantes señalados en esta nómina, con muy pocos proveedores en Chile.
Caseína	Animal Lácteo	Proteína		Se requiere de un medio ácido para separar el suero de la proteína de la leche, por ejemplo, vinagre.
Gelatina	Animal Colágeno	Proteína		Soluble en agua tibia, de gran capacidad gelificante y cuyo proceso es reversible al someterlo a temperatura ambiente.

Los hidrocoloides son aditivos cuyo medio de dispersión es el agua, formando partículas en suspensión que aumentan la viscosidad de la sustancia y posibilitan el estado de gel a partir de puentes de hidrógeno que encapsulan el agua (Lagla, 2018).

Considerando el origen del residuo a utilizar (cáscara de naranja) y los componentes poliméricos que posee (pectina, celulosa, lignina), la exploración de aglutinantes en la etapa de diseño y experimentación del material se acotó finalmente a los cuatro aglutinantes de origen vegetal descritos en la tabla.

Fuente: Elaboración propia basado en (Cores, 2018; Kääriäinen *et al.*, 2020; Materiom, s.f.; Pistofidou, 2017; Pistofidou, 2018; Ribul, 2013)

3.2. Estado del arte

El estado del arte recopilado en esta investigación se divide en dos secciones e incorpora proyectos de diversa índole: materiales compuestos biobasados en desarrollo, materiales/productos ya comercializados en el mercado y laboratorios o iniciativas de relacionadas a la exploración material desde un enfoque académico. Todos los referentes revisados se enmarcan lo que se definió anteriormente como materiales DIY.

3.2.1. Materiales basados en aglutinantes de polímeros naturales

a) “ChemArts” de la Universidad Aalto, Finlandia

“ChemArts” es un proyecto colaborativo entre distintas escuelas de la Universidad Aalto enfocado en la investigación de materiales biobasados y la exploración de nuevos conceptos para su uso avanzado, donde se destaca su amplia experimentación con los componentes derivados del procesamiento de la madera.



Figura 11
La experimentación material de “ChemArts”. Fuente: (Kääriäinen *et al.*, 2020)

d) LABVA, Chile

El Laboratorio de Biomateriales de Valdivia (LABVA) es un espacio creativo que promueve la investigación, experimentación y prototipado en torno a los biomateriales desde un enfoque territorial y transdisciplinar. El laboratorio aboga por consolidar una nueva cultura material a partir del vínculo entre las comunidades y sus territorios, impulsando la divulgación medioambiental y el empoderamiento ciudadano desde el campo de los materiales.



Figura 12
Muestras de biomateriales realizadas por el LABVA. Fuente: www.labva.org

c) “Neflium” de Studio Hole, México

“Neflium” es un material compuesto biobasado elaborado a partir de residuos de frutas tropicales del sur de México y aglutinantes naturales completamente biodegradables y no tóxicos. El material actualmente se encuentra en desarrollo, posee características estéticas similares al cuero y fue diseñado basado en la metodología de la cuna a la cuna.



Figura 13
Cuero vegetal desarrollado por el Studio Hole. Fuente: www.studiohole.com

b) “Aguahoja” de MIT’s Mediated Matter Group, Estados Unidos

El Mediated Matter Group del MIT explora con su proyecto “Aguahoja” los distintos lenguajes del entorno natural y el entorno construido por el ser humano, buscando aunar ambos lenguajes en una biblioteca material y una estructura de 5 metros de alto que integra biocompuestos a base de agua derivados de la celulosa, pectina, quitosano y carbonato de calcio a los procesos de fabricación digital y diseño paramétrico.

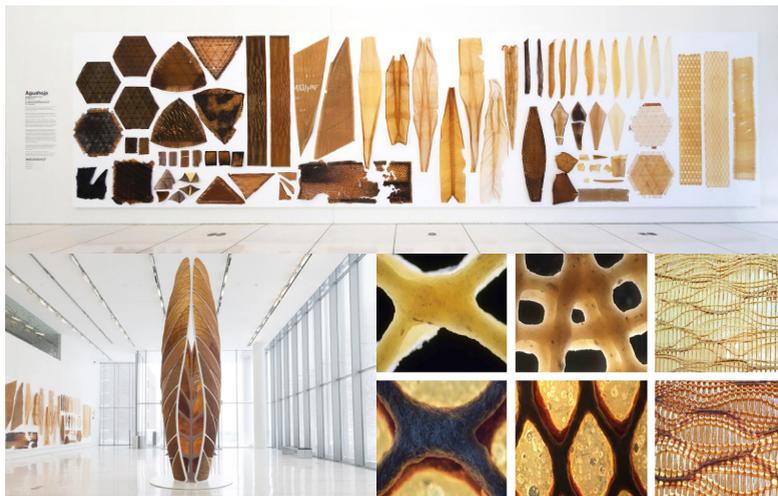


Figura 14
El pabellón de “Aguahoja” en el MIT Media Lab. Fuente: www.media.mit.edu

e) Decafé, España

Decafé es un emprendimiento español que desarrolla piezas de luminaria, bowls y accesorios decorativos a partir de un material elaborado con la borra del café y aglutinantes naturales. El material resultante conserva el aroma del café, tiene una dureza similar a la cerámica y es totalmente biodegradable.



Figura 15
Productos y procesos de *Decafé*. Fuente: www.decafe.es

f) Lugae, Chile

Lugae es un proyecto de investigación de biomateriales centrado en el estudio y caracterización de un bioplástico elaborado con glicerina, agua y carragenina, polisacárido extraído de las distintas especies de algas lugas chilenas. Esta iniciativa impulsada por el FabLab Santiago surge de la revisión de metodologías, bibliotecas de materiales y recetas asociadas al *Cook It Yourself* (cocínalo tú mismo/a).



Figura 16
Exploración material de *Lugae*. Fuente: www.lugae.cl

g) Fruit Leather Rotterdam, Países Bajos

Fruit Leather es un emprendimiento holandés que ha desarrollado un material similar al cuero elaborado a partir de mangos descartados de mercados locales y aglutinantes naturales. El material se comercializa en formato laminar, con amplias opciones de personalización en cuanto a colores, texturas y recubrimientos para aumentar su durabilidad.



Figura 17
Cuero vegetal de *FruitLeather Rotterdam*. Fuente: www.fruitleather.nl

3.2.2. Materiales basados en residuos de naranja y otros cítricos

a) Squeeze the Orange, España

A partir de la reutilización de los residuos de naranja y otras fibras vegetales, “*Squeeze the Orange*” crea un bioplástico impermeable, biodegradable y compostable con proyecciones hacia la industria de la moda. La iniciativa surge de estudiantes del Fablab Barcelona, donde exploran la idea de promover un ecosistema local de economía circular junto a los restaurantes de la zona.



Figura 18
Desarrollo material de *Squeeze the Orange*. Fuente: (*Squeeze the Orange*, s.f.)

b) Repulp Design, Francia

Repulp Design es un emprendimiento francés que reutiliza la cáscara de naranja para la elaboración de vasos compostables y biodegradables a través de moldeo por inyección. La empresa actualmente se encuentra en fase de lanzamiento y ha formado alianzas estratégicas con empresas productoras y procesadoras de frutos cítricos de Francia.



Figura 19
Vasos compostables de *Repulp*. Fuente: www.repulp.fr

c) Ottan Studio, Turquía

Ottan es un estudio turco de diseño de productos enfocado a la investigación biomaterial, que desarrolla, diseña y produce materiales y objetos decorativos derivados de diferentes residuos orgánicos como la naranja, café, cáscaras de nuez y otras fibras. La materia prima es recolectada, limpiada, secada y molida para luego añadirle resinas naturales no tóxicas e inyectarla en moldes que dan forma a una amplia gama de productos.



Figura 20
Líneas de producto y materiales de *Ottan*. Fuente: www.ottanstudio.com

d) “Feel the Peel” de Carlo Ratti Associati, Italia

Bajo la premisa de que la circularidad es imprescindible para las tecnologías de hoy y mañana, la firma de diseño Carlo Ratti Associati en conjunto con la compañía multinacional de energía Eni ha desarrollado el proyecto “*Feel the Peel*”, una máquina experimental que utiliza los residuos de naranjas exprimidas para crear filamentos bioplásticos con los cuales se imprimen en 3D los vasos desechables que se utilizan para beber el mismo jugo fresco de naranja que produce.

El primer prototipo, llamado *Circular Juice Bar*, es un exprimidor de 3 metros de altura que contiene cerca de 1.500 naranjas; Una vez exprimido el jugo, las cáscaras son acumuladas en la parte inferior de la máquina donde, a través de un proceso de secado y triturado son mezcladas con ácido poliláctico (PLA) y transformadas en filamento bioplástico empleado en la impresora 3D incorporada al sistema.

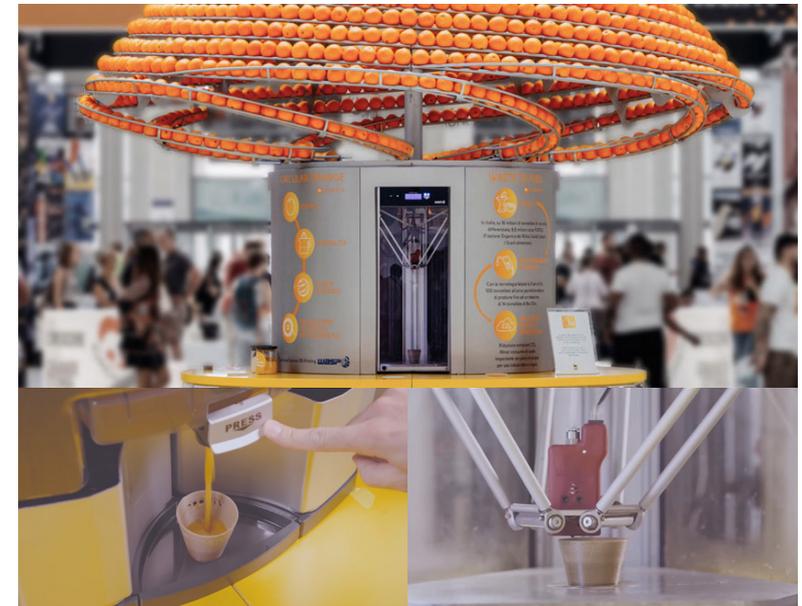


Figura 21
El *Circular Juice Bar*. Fuente: www.carloratti.com/project/feel-the-peel/

e) “Apeel” de Studio Arp, Reino Unido

Studio Arp reutiliza los residuos derivados del procesamiento industrial de jugos de naranja para desarrollar “Apeel”, un material firme y con gran capacidad para ser conformado en moldes.



Figura 23
Exprimidores de jugo del Studio Arp. Fuente: <https://www.studioarp.uk/apeel>

f) Yuli Meroz, Israel

La diseñadora israelí Yuli Meroz lleva su experimentación material al trabajo directo con la cáscara fresca de la naranja, fabricando intrincados objetos tejidos, ensamblados o recubiertos de este material. El fundamento detrás de su trabajo es darle valor a los aspectos únicos de la naranja como su aroma, textura y color, sin intervenir en su estructura natural, este proceso la ha llevado a desarrollar distintas técnicas y estaciones de trabajo para sus creaciones como telares, bastidores y troqueladoras.



Figura 22
Experimentación material de Yuli Meroz. Fuente: (Yuli Meroz, s.f.)

3.2.3. Conclusiones de la revisión de referentes

La **Tabla 8** resume el estado del arte recopilado en esta investigación bajo tres criterios: residuo (refuerzo), aglutinante (matriz) y el área de aplicación. Las secciones resaltadas indican los criterios en donde se interseca el material propuesto.

Para concluir, si bien la información web de los proyectos revisados es limitada y en algunos casos no se alcanza a esclarecer en su totalidad el origen del material, si es posible distinguir distintas intenciones predominantes en las propuestas de revalorización del residuo, ya sea desde una perspectiva estética, de economía circular, de revalorización de la práctica artesanal o desde un enfoque académico de exploración material. Estas visiones planteadas permiten proyectar distintos escenarios para el material propuesto.

En cuanto a los procesos utilizados en la fabricación de los materiales/productos existe una marcada tendencia en el conformado de piezas en moldes o láminas. Se destacan como hallazgos interesantes los procesos de impresión 3D utilizados en “*Feel the Peel*” y “*Aguahoja*”, la técnica de embozado de texturas utilizada en *Fruit Leather* y las distintas estaciones de trabajo desarrolladas por la diseñadora Yuli Meroz.

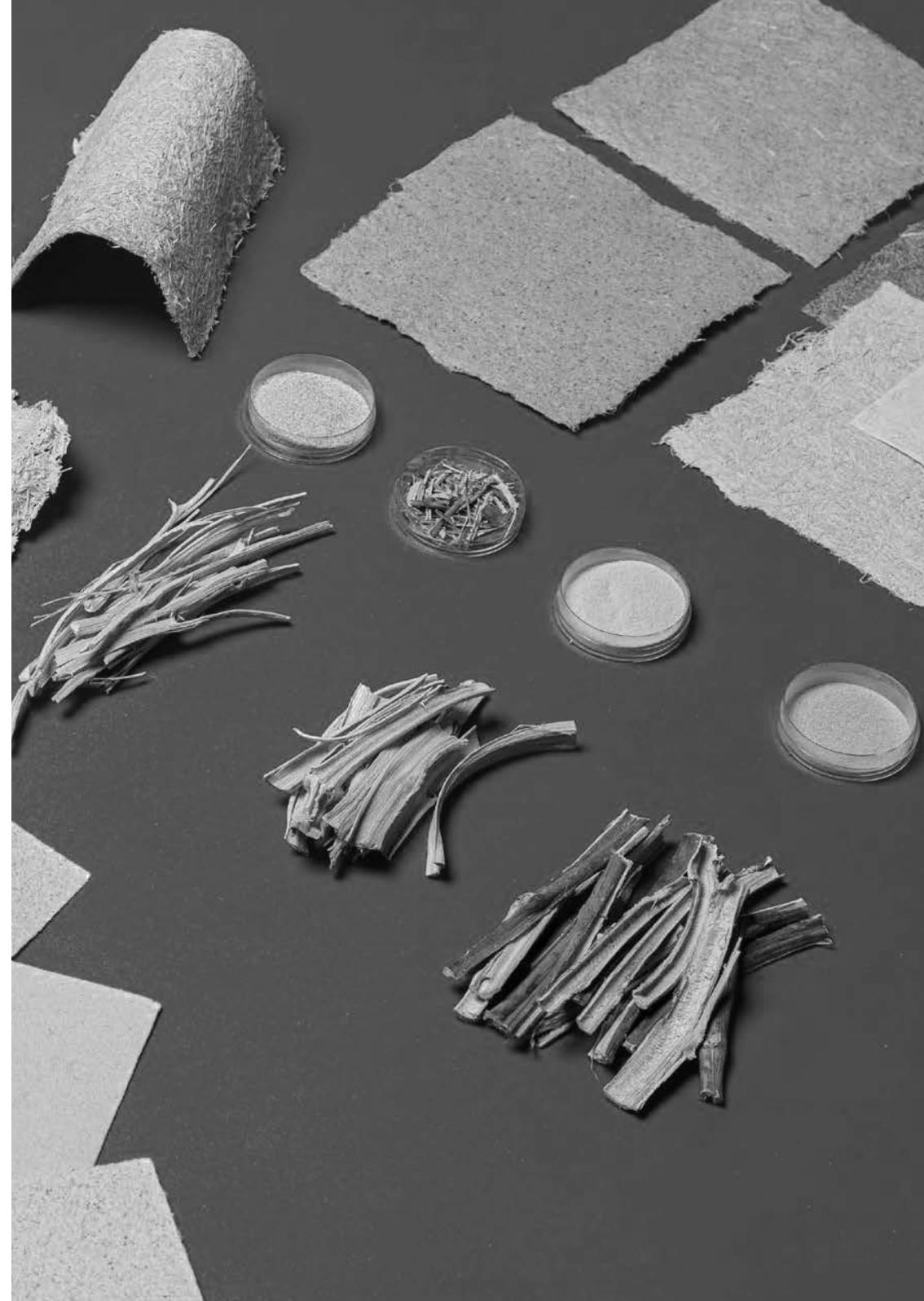
Otro aspecto relevante es que, si bien los proyectos revisados se enmarcan en el desarrollo de materiales DIY, la caracterización técnica del material les permite equipararse con otros materiales desarrollados por medios tradicionales. Así, la propuesta adquiere una nueva capa de profundidad al establecer las cualidades físicas, mecánicas, térmicas y de biodegradabilidad mediante ensayos normados.

Finalmente, el material compuesto biobasado desarrollado en esta investigación posee muchos elementos comunes con los proyectos expuestos en el estado del arte, sin embargo, el elemento diferenciador de esta propuesta radica en los nuevos procedimientos de fabricación planteados por el autor en vista del enfoque iterativo de exploración material que toma esta investigación.

Tabla 8: Resumen de la revisión de referentes

Nombre	Residuo (Refuerzo)	Aglutinante (Matriz)	Área de aplicación
LABVA	Varios	Agar-agar, carragenina, almidón, etc.	Varias, laboratorio de investigación material
“ChemArts” de la Universidad Aalto	Varios	Agar-agar, almidón, alginato, polímeros de celulosa, etc.	Varias, laboratorio de investigación material
“Neflium” de Studio Hole	Frutas tropicales (no específica)	Polímero natural y biodegradable	Símil al cuero
“Aguahoja” de MIT’s Mediated Matter Group	No utiliza	Pectina, quitosano y polímeros derivados de celulosa.	Diseño paramétrico, instalación
Decafé	Borra de café	Polímero natural y biodegradable	Lámparas y accesorios
Lugae	No utiliza	Carragenina	Film bioplástico
Fruit Leather	Pulpa de mango	Polímero natural y biodegradable	Símil al cuero
Squeeze the Orange	Naranja y lana	Alginato de sodio	Símil al cuero
Repulp Design	Naranja	Resinas naturales	Vasos compostables
Ottan Studio	Naranja y otros	Resinas naturales	Lámparas y accesorios
“Feel the Peel” de Carlo Ratti Associati	Naranja	PLA	Vasos impresos en 3D, instalación
“Apeel” de Studio Arp	Naranja	Polímero natural y biodegradable	Exprimidor de jugo
Yuli Meroz	Naranja	No utiliza	Artesanía directamente de la cáscara

Fuente: Elaboración propia



Parte II

MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN



Los métodos de investigación se dividen en tres etapas de acuerdo con los objetivos específicos planteados y se encuentran resumidos en la [Tabla 9](#):

La primera etapa metodológica es de carácter experimental y consiste en el diseño del material basado en cáscara de naranja y otros cítricos, lo que comprende tanto el procesamiento del residuo como el proceso de elaboración del material compuesto. Mediante el desarrollo de probetas se estudiaron las variables de composición y proporción, fabricando y seleccionando muestras definitivas del material a ser utilizadas en etapas posteriores.

La segunda etapa consiste en la caracterización del material, donde las probetas elaboradas fueron sometidas a ensayos para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas, la resistencia a agentes externos, su trabajabilidad y características experienciales como la percepción de distintos usuarios.

La tercera etapa consiste en la exploración de propuestas de aplicación del material en vista de sus propiedades y su puesta en contexto, culminando en el desarrollo conceptual y prototipado de dos propuestas seleccionadas.

Tabla 9: Resumen de los métodos de investigación

Objetivo general			
Explorar el potencial de las cáscaras de cítricos como materia prima para la elaboración de un material compuesto biobasado.			
Objetivos específicos	Etapas	Actividades	Resultados
Diseñar el compuesto biobasado de residuos cítricos desde un enfoque iterativo de exploración material.	Etapa 1: Diseño y experimentación con el material	A) Establecer el proceso de elaboración del material.	Esquema de procesamiento de la materia prima y elaboración del material. Determinación de la composición final.
		B) Definir la proporción de aglutinante, plastificante y otros aditivos a utilizar en el material.	Cálculo estimativo de los costos energéticos y de materia prima para la producción del material compuesto.
Caracterizar el material compuesto basado en cáscaras de cítricos a través de ensayos, para generar una ficha técnica que agrupe las propiedades del material.	Etapa 2: Caracterización del material	A) Evaluar y analizar las propiedades físicas y mecánicas del material.	Resultados conforme a las normas*: - UNE-EN 317 (AENOR, 1994b). - UNE-EN 323 (AENOR, 1994d). - ASTM D638-14 (ASTM, 2014). - ASTM D6400-04 (ASTM, 2004). - ASTM D1666-17 (ASTM, 2017).
		B) Evaluar la trabajabilidad del material.	Diferencial semántico aplicado a población de estudio.
		C) Evaluar la resistencia del material a agentes externos.	Registro fotográfico.
		D) Evaluar los aspectos perceptuales del material.	* Adaptadas a las condiciones y requerimientos del ensayo y el material.
Validar el material mediante el diseño de propuestas de aplicación que aprovechen sus propiedades.	Etapa 3: Validación del material	A) Generar, evaluar y seleccionar propuestas de aplicación del material.	Esquema de síntesis de las cualidades del material y matriz de Pugh para evaluación y selección ideas de aplicación.
		B) Diseñar y prototipar propuestas de aplicación del material.	Desarrollo conceptual de tres propuestas de aplicación del material.

Fuente: Elaboración propia



4 Experimentación y diseño del material compuesto

La metodología para la elaboración del material basado en cáscaras de naranja contempló en una primera etapa el desarrollo de un estudio práctico que, mediante la experimentación con diversos aglutinantes, plastificantes, aditivos y proporciones, permitió definir y esquematizar el proceso de fabricación y la composición final del material compuesto.

Las primeras etapas del proyecto se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Materiales Biobasados de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, sin embargo, debido a la contingencia sanitaria del COVID-19, se adquirieron insumos y herramientas para la realización del material desde el hogar.

Tabla 10: Etapa de experimentación y diseño del material

Etapa experimental: Diseñar el compuesto biobasado de residuos cítricos desde un enfoque iterativo de exploración material.	
Actividades	Tareas
A) Establecer el proceso de elaboración del material.	<ul style="list-style-type: none"> - Procesar el residuo orgánico para obtener la materia prima utilizable en tareas futuras. - Fabricar probetas del material con distintos aglutinantes derivados de polisacáridos para evaluar y seleccionar los componentes definitivos del material compuesto. - Definir y esquematizar los procesos de fabricación del material compuesto.
B) Definir la proporción de aglutinante, plastificante y otros aditivos a utilizar en el material.	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricar probetas del material con distintas proporciones para establecer la mezcla óptima de acuerdo al resultado esperado. - Calcular los costos energéticos y de materia prima que implica la producción del material.

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Proceso de elaboración del material

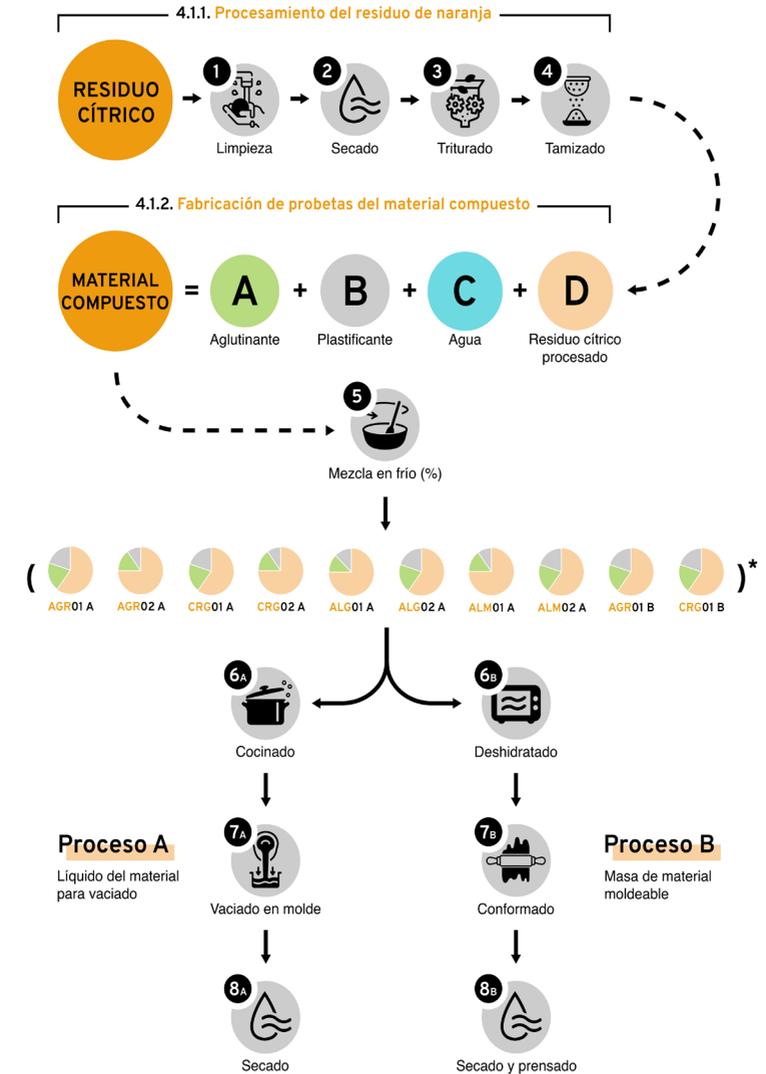
El proceso de elaboración del material fue dividido en tres fases, en primer lugar se recolectó e intervino el residuo cítrico, luego, en una segunda fase, se formularon probetas del material para la selección de aglutinantes y otros componentes, donde se tomó como marco referencial las recetas y proporciones trabajadas en las publicaciones de Pistofidou (2017; 2018) del FabTextiles, la biblioteca *open source* de Materiom y el trabajo de tesis de Bátori (2019), por último, la tercera fase contempló la fabricación y evaluación de las probetas correspondientes a los procesos A y B. El esquema presentado en la Figura 25 resume la secuencia de elaboración de probetas del material.

Durante la experimentación material se utilizaron los siguientes insumos y herramientas: jarro medidor de plástico de 600 ml, jeringa de 10 ml, colador metálico, sartén antiadherente, pie de metro, bandejas de acrílico y plástico, recipientes de vidrio y plástico, láminas de latón, mezquino de silicona y rodillo de cocina. Los equipos utilizados fueron: cocina a gas, horno eléctrico, horno microondas, balanza digital, termómetro para cocina, moladora de granos de café y plancha de ropa.



Figura 24
Insumos y herramientas para la fabricación del material compuesto.
Fuente: Elaboración propia.

ESQUEMA RESUMEN: Proceso de elaboración de probetas del material



* El contenido de agua de cada probeta se detallará durante el capítulo.

Figura 25
Esquema resumen de la experimentación de probetas y su composición material.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Procesamiento del residuo cítrico

Para la adquisición del residuo cítrico se contactó con la empresa procesadora de pulpas de naranja “Tresmontes S.A”, ubicada en la localidad de Casablanca, sin embargo, las medidas de confinamiento impidieron visitar la empresa y concretar la recolección de la materia prima. Finalmente, para la elaboración de las probetas de composición/proporción se utilizó el residuo facilitado por vendedores de jugos frescos de naranja del sector.

1 Limpieza Se procedió a lavar y extraer el remanente de pulpa y membranas de las cáscaras para luego hervirlas en agua durante 5 minutos y eliminar cualquier rastro de suciedad e impureza.

2 Secado Al ser una materia prima de alto contenido lignocelulósico y gran porosidad, fue necesario pasar por un proceso de secado para que la cáscara perdiera agua (cerca de un 80% de su masa) y así determinar su peso específico. Las cáscaras humedecidas fueron cortadas en piezas cuadradas de ≈ 10 mm para acelerar el proceso de secado y posteriormente depositadas en un horno Binder FD23 a una temperatura de 90° durante 12 horas.



Figura 26 Limpieza y secado de las cáscaras de naranja. Fuente: Elaboración propia.

3 Triturado La molienda de la materia prima seca se realizó con una máquina para moler granos de café de la marca Krups (de dos cuchillas y un motor de 160 Watts de potencia), obteniendo un material particulado homogéneo y con una granulometría visiblemente menor a 1 mm.

4 Tamizado Para el tamizado de la cáscara molida se utilizó un colador metálico de cocina de ≈ 18 mesh (1 mm), las partículas de mayor tamaño fueron procesadas en la máquina nuevamente hasta obtener el tamaño de partícula deseado.



Figura 27 Triturado y tamizado de las cáscaras de naranja. Fuente: Elaboración propia.

1 Densidad de las partículas de naranja La caracterización física realizada por Pathak *et al.* (2017) determinó que la densidad aparente de las cáscaras de naranjas estudiadas fue de $0,53 \text{ g/cm}^3$. Para comparar los resultados de este estudio con la materia prima procesada, se realizó una medición en donde se vertieron 300 cm^3 de polvo de cáscara de naranja en un recipiente y se pesó, obteniendo la densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dónde:

ρ = Densidad en gramos (g) dividido en centímetros cúbicos (cm^3).

m = Masa en gramos (g).

V = Volumen en centímetros cúbicos (cm^3).

4.1.2. Fabricación de probetas del material compuesto

Con el residuo de naranja ya intervenido, la siguiente fase experimental buscó determinar los componentes definitivos para la mezcla del material propuesto, conforme a ello se procedió a fabricar probetas con los distintos aglutinantes abordados durante la revisión bibliográfica. Las probetas de composición fabricadas se evaluaron y compararon bajo diversos parámetros cuantitativos y cualitativos para determinar el desempeño general del material elaborado tal como se plantea en las Tablas 11, 12 y 13.

a. Aglutinantes

Durante la revisión de literatura se acotó el rango de exploración de aglutinantes a cuatro opciones de origen natural y bajo impacto ambiental que, por sus características, actuaran como refuerzo a la celulosa y la pectina presente en las partículas de naranja. Estos fueron: agar-agar, carragenina, alginato y almidón de maíz, aglutinantes derivados de polisacáridos que actúan como agentes espesantes y gelifican en presencia de agua, siendo alternativas propicias para el desarrollo de láminas de bioplásticos. Además, se incluyeron aquellos componentes que complementarían el funcionamiento de algún aglutinante, como por ejemplo el vinagre y bicarbonato de sodio para las mezclas con almidón.

b. Plastificantes

Entre los plastificantes revisados se determinó la utilización del glicerol, específicamente glicerina vegetal pura de grado alimenticio (USP), un producto de amplia disponibilidad en el mercado chileno, no tóxico y de alta higroscopicidad, el cual otorga mayor flexibilidad, ductilidad y cohesión al material.

c. Otros aditivos

En la categoría “otros aditivos” se encuentran aquellos componentes que modifican las características del material, como el propionato de calcio o la sal para evitar la proliferación de hongos durante el proceso de secado y el ácido cítrico para evitar mayores cambios en la coloración del material debido a la oxidación.

Tabla 11: Formulación de probetas y proporciones

Probeta		Composición (%)			Agua (%)*
		Cáscara	Aglutinante	Plastificante	
AGR <i>agar-agar</i>	01 A	60	20	20	600
	02 A	75	15	10	600
	01 B	60	20	20	200
ALG <i>alginato</i>	01 A	60	20	20	400
	02 A	75	12,5	12,5	400
CRG <i>carragenina</i>	01 A	60	20	20	600
	02 A	75	15	10	600
	01 B	60	20	20	200
ALM <i>almidón</i>	01 A	60	20	20	600
	02 A	75	15	10	600

*Proporción de agua aplicada según el total de la composición seca

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Parámetros cuantitativos para la evaluación de probetas

Probeta	Tiempo de preparación		Peso (g)		Espesor (mm)		Tamaño (cm ²)	
	Cocinado	Secado	P _i	P _f	E _i	E _f	T _i	T _f

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de los parámetros cualitativos se estableció una escala de valoración del 1 al 5, siendo 1 un desempeño nulo y 5 un desempeño perfecto en el aspecto analizado.

Tabla 13: Parámetros cualitativos para la evaluación de probetas

Probeta	Uniformidad de espesor	Estabilidad dimensional	Presencia de hongos	Agrietamiento o rotura

Fuente: Elaboración propia.

A fin de ampliar el espectro de resultados y proyectar distintas aplicaciones para el material, se desarrollaron dos variantes de probetas cuyo proceso de fabricación toma caminos distintos a partir de la mezcla en frío de los componentes. Para el primero de los casos, denominado proceso A, a la mezcla seca se le aplicó seis veces su peso en agua, obteniendo un líquido fácil de verter en moldes, mientras que para el proceso B, se aplicó dos veces su peso en agua y se obtuvo una masa de material moldeable.

- Mezcla en frío** La materia prima, el aglutinante, el plastificante y otros aditivos fueron pesados para determinar la proporción de la probeta. Los componentes secos se mezclaron uniformemente y luego se procedió a hidratar con agua destilada o de pH neutro a temperatura ambiente (25°C) hasta obtener una mezcla homogénea y sin grumos.

Proceso A: Líquido de material para vaciado

- Cocinado** La mezcla se calentó a fuego medio durante ≈5 minutos o hasta alcanzar los 80°C, parámetro que se midió de forma continua con un termómetro para cocina de la marca Thermo. Se determinó que la mayoría de los aglutinantes trabajados cumplen las condiciones para gelificar luego de que la mezcla alcanza los 75-80°, es decir, cuando comienza a espesar y burbujear.

- Vaciado en molde** La mezcla caliente fue rápidamente vertida en moldes de acrílico de 210 x 210 x 20 mm para evitar un curado prematuro dentro del recipiente donde se cocinó, posteriormente se agitó el molde para nivelar la mezcla y se controló el peso y espesor del material ya curado.

- Secado** Los moldes fueron secados en el exterior, con sol indirecto y a una temperatura a la sombra de 25° durante ≈3-5 días dependiendo del espesor de la probeta. También se desarrolló una estación de secado de probetas para interior, utilizando una caja y un secador de aire caliente con intervalos de encendido definidos en un temporizador.



Figura 28
Consistencias de las mezclas en frío "A" y "B". Fuente: Elaboración propia.

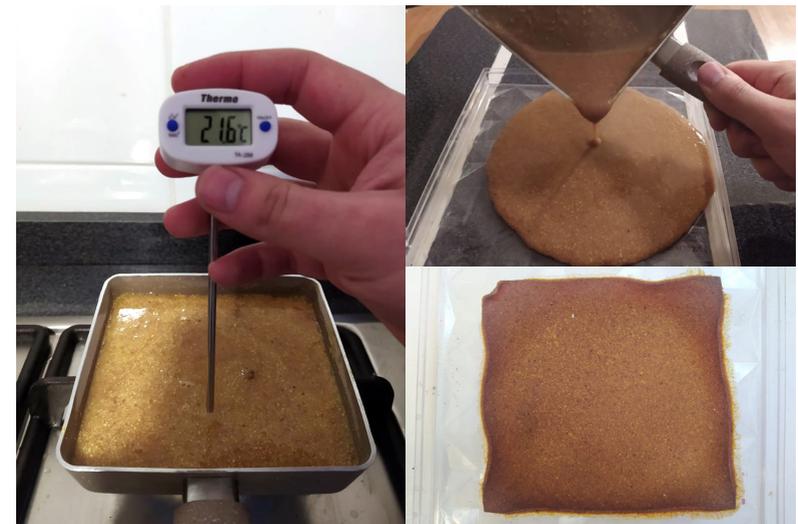


Figura 29
Proceso de elaboración del material "A". Fuente: Elaboración propia

Proceso B: Masa de material moldeable

Deshidratado La mezcla en forma de masa se calentó a temperatura media-alta en un horno microondas durante 7 minutos o hasta perder $\approx 50\%$ del contenido de agua.

6_B Este proceso también se logró replicar calentando la mezcla en una cocina a gas, sin embargo, implicó un mayor gasto energético y el material fue más propenso a quemarse superficialmente al estar menos hidratado.

Conformado Luego de calentada la masa, se procedió a darle forma con las manos para posteriormente estirla con un rodillo de cocina sobre una superficie lisa, hasta conseguir una lámina de espesor uniforme.

7_B

Secado y prensado El material laminar fue secado en el exterior, con sol indirecto y a una temperatura a la sombra de 25° entre 12-15 horas para probetas de ≈ 3 mm, posteriormente se procedió a prensar el material entre dos láminas de latón y una plancha para ropa en intervalos de 5 minutos hasta conseguir la pérdida total de contenido de agua.

8_B



Figura 30 Proceso de elaboración del material "B". Fuente: Elaboración propia.

4.2. Determinación de la proporción definitiva y evaluación general del material

A modo de cierre de la etapa de experimentación y diseño del material basado en residuos cítricos, se evaluaron los resultados obtenidos conforme a los diversos criterios, observaciones y puntos críticos detectados a lo largo del proceso, de esta manera se eligió el agar-agar como aglutinante definitivo a utilizar en el material compuesto.

Se realizó una nueva serie de probetas variando la proporción de los componentes con el objeto de diversificar el universo de muestras resultantes de los procesos A y B, orientando a disminuir la utilización del aglutinante y plastificante en la composición en pos de una mayor presencia del residuo cítrico. Las probetas fueron evaluadas bajo los mismos parámetros expuestos en la sección anterior.

Tabla 14: Formulación de nuevas proporciones con agar-agar

Probeta	Composición seca (%)			Agua destilada (%)*	
	Cáscara	Agar-agar	Glicerina USP		
AGR (anteriores)	01 A	60	20	20	600
	02 A	75	15	10	600
	01 B	60	20	20	200
AGR (nuevas)	03 A	80	10	10	600
	04 A	80	15	5	600
	02 B	80	10	10	200
	03 B	70	20	10	200
	04 B	70	10	20	200

*Proporción de agua aplicada según el total de la composición seca

Fuente: Elaboración propia.

Tras la formulación y fabricación de nuevas proporciones de la mezcla, se seleccionó la probeta con mejores resultados aparentes de cada proceso para ser evaluada a través de ensayos físicos y mecánicos en la siguiente etapa de caracterización.

4.2.1. Costos de producción del material

Conforme al proceso de elaboración del material detallado durante este capítulo y la determinación de la composición y proporción definitiva de las probetas a caracterizar, se realizó un cálculo estimativo del consumo energético y de materia prima asociada a la fabricación del material basado en el residuo cítrico.

Se evaluó el cumplimiento de algunos de los criterios de sostenibilidad planteados en el primer capítulo y, de esta manera, se analizó la factibilidad de su desarrollo con los procesos actuales y qué modificaciones dentro de un proceso de fabricación más industrializado podrían disminuir sus costos de producción.

El cálculo se realizó contemplando los valores de kilovatios hora (kWh) en Chile y el consumo asociado a determinado proceso, es decir, el consumo eléctrico de un equipo y su tiempo de uso.

Tabla 15: Consumo energético del proceso de fabricación

Etapa	Proceso			Consumo del proceso (kWh)
	Equipo	Consumo (W)	Horas (h)	

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los costos de materia prima fueron asociados al precio por gramo de cada componente utilizado y la cantidad requerida para producir 100 cm³ del material.

Tabla 16: Costos de la materia prima

Material	Precio (\$/g)	Cantidad utilizada por 100cm ³ del material	Rendimiento del material (\$/100cm ³)

Fuente: Elaboración propia.





5 Caracterización del material

Una vez diseñado el material y esquematizados los procesos de fabricación de este, se procede a caracterizar y evaluar, a través distintos ensayos y herramientas metodológicas, las propiedades físicas y mecánicas del material, así como también sus aspectos de trabajabilidad, resistencia a agentes externos y de percepción. Cada sección detalla los procedimientos, condiciones y medios con los cuales se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 17: Etapa de caracterización del material

Etapa de caracterización: Caracterizar el material compuesto basado en cáscaras de cítricos a través de ensayos, para generar una ficha técnica que agrupe las propiedades del material.	
Actividades	Tareas
A) Evaluar y analizar las propiedades físicas y mecánicas del material.	- Realizar ensayos físicos de: densidad, absorción de agua e hinchamiento. - Realizar ensayos mecánicos de: tracción y análisis dinamomecánico.
B) Evaluar la trabajabilidad del material a través de mecanizado y moldeado.	- Realizar pruebas de mecanizado del material: corte, perforado y corte láser. - Realizar pruebas de moldeado del material: conformado laminar, texturizado y en molde de dos partes.
C) Evaluar la resistencia del material a agentes externos.	- Realizar ensayo de exposición a rayos UV. - Realizar ensayo de degradación natural.
D) Evaluar los aspectos perceptuales del material.	- Aplicar el Diferencial Semántico en población de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5.1. Ensayos físicos del material

El material fue sometido a ensayos para evaluar sus propiedades físicas, estos ensayos fueron realizados en el domicilio y se analizaron dos tipos de probetas correspondientes a los procesos detallados en el capítulo anterior.

Tabla 18: Probetas a evaluar en los ensayos. Elaboración propia.

Probeta	Composición seca (Cáscara - aglutinante - plastificante)			Agua	Espesor
A	80%	10%	10%	600%	≈1 mm
B	70%	10%	20%	200%	≈3 mm

5.1.1. Densidad

Para determinar la densidad del material se realizó un ensayo basado en la norma UNE-EN 323 (AENOR, 1994d), utilizando probetas de 50 mm x 50 mm. La densidad del material se calculó a partir de la relación entre la masa y volumen de la probeta, como se muestra a continuación:

$$\rho = \frac{m}{l \times a \times e} \times 10^3$$

Dónde:

ρ = Densidad en gramos (g) dividido en centímetros cúbicos (cm³).

m = Masa en gramos (g).

l = Largo de la probeta en milímetros (mm).

a = Ancho de la probeta en milímetros (mm).

e = Espesor de la probeta en milímetros (mm).

La norma UNE-EN 323 señala que la unidad de expresión de la densidad es kg/m³, sin embargo, en este estudio se adaptó a una escala menor, siendo expresada en g/cm³.

Se estudiaron cinco probetas correspondientes al proceso A y cinco probetas del proceso B. La masa de cada una de las probetas se obtuvo con una balanza de precisión.

5.1.2. Absorción de agua e hinchamiento

Para los ensayos indicados se procedió según la norma UNE-EN 317 (AENOR, 1994b), donde se midió el peso y espesor inicial de las probetas para luego ser sumergidas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, calculando la variación porcentual tanto del peso como del espesor. El estudio realizado contó con cinco probetas A y cinco probetas B, todas de 50 mm x 50 mm y se calculó con las siguientes fórmulas:

$$H = \frac{e_f - e_i}{e_i} \times 100$$

Dónde:

H = Porcentaje de hinchamiento (%).

e_i = Espesor de la probeta en milímetros (mm) antes de la inmersión.

e_f = Espesor de la probeta en milímetros (mm) después de la inmersión.

$$A = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

Dónde:

A = Porcentaje de absorción de agua (%).

P_i = Peso de la probeta en gramos (g) antes de la inmersión.

P_f = Peso de la probeta en gramos (g) después de la inmersión.

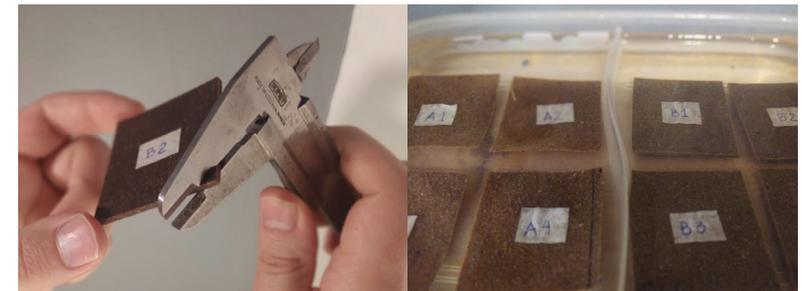


Figura 31

Probetas para los ensayos físicos del material. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Ensayos mecánicos del material

Los ensayos mecánicos del material se llevaron a cabo en las dependencias del Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la Universidad del Bio Bío, en la ciudad de Concepción.

Se desestimó la realización del ensayo de flexión de la norma ASTM D790 ya que las probetas no cumplían los estándares requeridos debido a su gran flexibilidad, de manera que el resultado obtenido sería indeterminado. Tampoco se contaba con una máquina de ensayos que se ajustara a los parámetros necesarios para medir la flexión de este tipo de material.

5.2.1. Esfuerzo de tracción

El ensayo de tracción del material se realizó conforme a la norma ASTM D638-14 para plásticos, se estudiaron cinco probetas A del tipo IV (para plásticos no-rígidos) con las medidas especificadas en la **Figura 32** y se calculó según la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{W}{A_o}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de tracción expresado en Megapascales (N / mm²).

W = Carga en Newton (N).

A_o = Área de la sección transversal original en milímetros cuadrados (mm²).

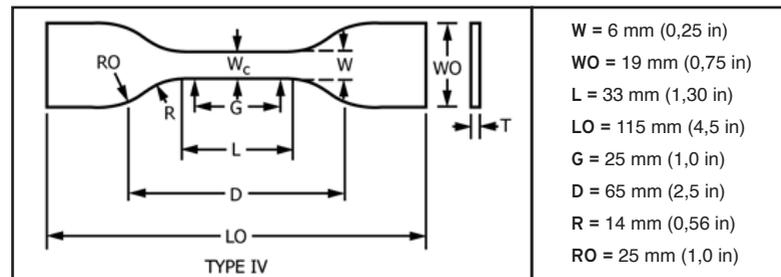


Figura 32
Tamaño de probeta para la norma ASTM D638-14. Fuente: ASTM, 2014.

5.2.2. Análisis dinamomecánico (DMA)

El análisis dinamomecánico (DMA) o también conocido como análisis mecánico diferencial es un ensayo utilizado para estudiar y caracterizar la estructura y comportamiento viscoelástico de polímeros termoplásticos (Mexpolímeros, s.f.).

Para la realización del ensayo se entregó un total de 25 gramos del material sin curar para ser estudiado. El material fue sometido a una carga periódica mientras se aplicaba temperatura, analizando los cambios en la estructura molecular a través del principio de estímulo-respuesta. Los resultados fueron expuestos en función de la temperatura y el esfuerzo aplicado, graficando en X la temperatura y en Y los parámetros de: módulo de almacenamiento, viscosidad compleja y tangente delta del material.

5.3. Evaluación de trabajabilidad del material

La trabajabilidad puede definirse como la respuesta del material frente a la acción de distintas herramientas manuales, mecánicas y eléctricas y, bajo el criterio de este proyecto, a su capacidad para ser moldeado. De esta manera, con el desarrollo de diversas pruebas se busca valorar los resultados y determinar aquellos instrumentos que permitan un mejor desempeño en el trabajo con el material compuesto.

5.3.1 Pruebas de mecanizado

Para el desarrollo de las pruebas de mecanizado del material se tomó como referencia la escala de valoración indicada en la norma ASTM D1666-17 "Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de mecanizado de madera y materiales de paneles de madera" (**Tabla 19**).

Se analizaron probetas del material basado en el residuo cítrico, de formatos distintos según la herramienta estudiada. Todas las pruebas de mecanizado fueron realizadas en el domicilio y con las herramientas disponibles en el lugar, salvo algunas excepciones indicadas en la sección correspondiente.

Luego de ser intervenidas con las distintas herramientas, las probetas fueron examinadas y evaluadas cualitativamente para determinar el grado de trabajabilidad del material, la medición fue netamente visual y se clasificó el grado según el estado de la superficie, el nivel de desprendimiento de partículas, marcas de herramientas y desgarro del material.

Tabla 19: Grados de trabajabilidad según defectos en el material

Grado	Calidad	Descripción
Grado 1	Excelente	Sin defectos.
Grado 2	Bueno	Defecto leve, el material presenta un desprendimiento de partículas menor al 30%, sin marcas de herramienta.
Grado 3	Regular	Defecto medio, el material presenta un desprendimiento de partículas menor al 30%, con marcas leves de herramienta.
Grado 4	Mala	Defecto medio-alto, el material presenta un desprendimiento de partículas entre el 30% y 50%, con marcas de herramienta y posibilidad de desgarro del material.
Grado 5	Muy mala	Defecto alto, el material presenta un desprendimiento de partículas superior al 50%, con marcas de herramienta y posibilidad de desgarro del material.

Fuente: Elaboración propia basado en (ASTM, 2017).

a) Corte

La prueba de corte contempló la evaluación de cuatro herramientas manuales: cúter, tijeras, sierra manual y una herramienta multipropósito de la marca Dremel con un disco de corte.

b) Perforado y punzonamiento

Para el perforado y punzonamiento del material se probaron cuatro tipos de herramientas: punzón para cerámica de $\varnothing 2\text{mm}$, herramienta multipropósito con broca de 3 mm, cautín de 60 Watts de potencia y por último, una máquina de coser de la marca Brother. Se dimensionó una probeta de 50 mm x 80 mm del material para hacer las pruebas a lo largo de esta y evaluar los defectos en ambas caras del material.

c) Corte láser

Para las pruebas de corte láser se utilizaron tres probetas y se configuró un archivo de corte con el fin de probar los distintos valores de potencia, velocidad y pulsos por pulgada (PPI) de la máquina sobre el material, de esta manera se valoraron los resultados según corte y grabado. Esta prueba se realizó en el laboratorio de fabricación digital del *Stgo Makerspace Providencia*.

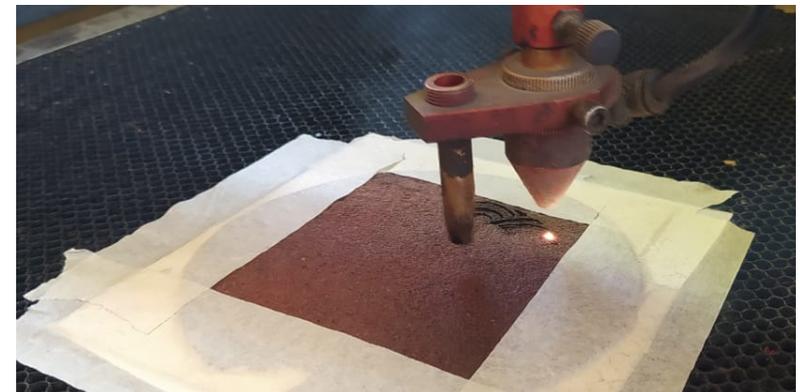


Figura 33
Procedimiento de corte láser sobre el material. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Pruebas de moldeado

Con las pruebas de moldeado se evaluó la capacidad del material para ser conformado en distintos formatos: laminar, texturizado y de molde cerrado. Determinando así su grado de trabajabilidad en base a la calidad de la superficie, los tiempos de secado en molde, el grado de deformación del material y la capacidad para mantener la forma inicial tras el secado de las piezas.

a) Conformado en láminas

El conformado en láminas corresponde al método utilizado en todas las probetas del proceso B anteriormente fabricadas: el material fue conformado con un rodillo de cocina sobre una superficie lisa, utilizando guías de distintas alturas para obtener láminas con espesores fijos de 1, 3 y 5 mm.

b) Conformado en moldes cerrados

Se fabricaron mediante impresión 3D dos moldes cerrados: una semiesfera de $\varnothing 100$ mm con 4 mm de espesor de pared y un cono truncado de 75 mm diámetro superior y 50 mm de diámetro inferior, con un espesor de pared de 2,5 mm. El material se mantuvo en el molde durante 24 horas para asegurar un correcto curado.



Figura 34
Conformado en moldes cerrados. Fuente: Elaboración propia.

c) Conformado en moldes laminares texturizados

A fin de experimentar si el material era capaz de replicar una superficie compleja y mantener la proporción tras el secado, se modelaron tres superficies con patrones geométricos de 100 x 100 mm para ser impresas en 3D (Figura 35). La masa de material sin curar fue aplicada con un rodillo de cocina sobre la superficie texturizada, quedando una de las caras plana.

Las piezas se fabricaron con geometrías simples a fin de evitar la retención del material durante el desmolde, además, las curvaturas en relieves positivos y negativos dotaron de múltiples espesores al material moldeado.

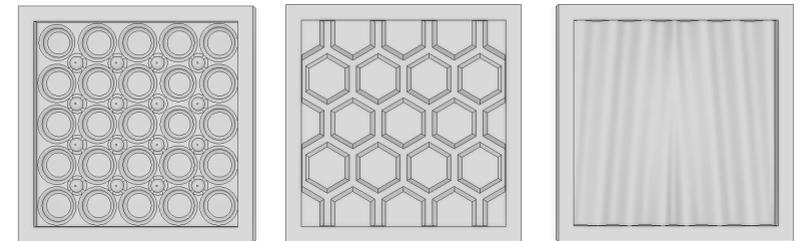


Figura 35
Los tres patrones geométricos explorados. Fuente: Elaboración propia.

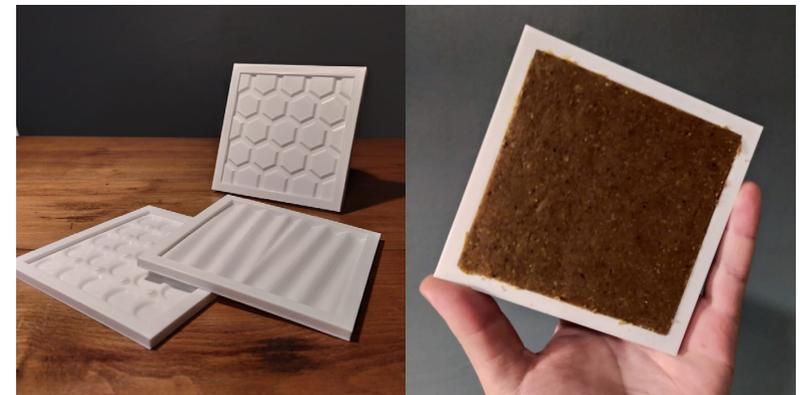


Figura 36
Conformado en moldes laminares texturizados. Fuente: Elaboración propia.

5.5. Resistencia a agentes externos

Se estudiaron los cambios en el aspecto y las propiedades del material como resultado de la exposición a agentes externos.

5.5.1. Exposición a rayos UV

El envejecimiento natural del material producto de la exposición directa a rayos UV es un factor de gran importancia si se considera desarrollar aplicaciones del material para exteriores.

Tras la exposición a radiación solar por un tiempo prolongado, los polímeros termoplásticos pueden presentar algún tipo de degradación que afecte tanto a su aspecto como sus propiedades físicas y mecánicas, por ejemplo, variaciones en la coloración del material, aparición de grietas, disminución en la resistencia, dureza y elasticidad (Mexpolímeros, s.f.).

El estudio consistió en colocar cuatro probetas de 50mm x 50mm x 3mm del material compuesto al exterior, sobre una superficie con inclinación 45°, orientación norponiente y plena exposición solar durante el día. Este proceso se llevó a cabo en la Región Metropolitana, comuna de Providencia, entre los meses de diciembre y enero, las temperaturas registradas se muestran en la **Figura 37** y el promedio de índices UV fue superior a 11 (Extremo).

El ensayo se extendió durante 30 días y se realizó un registro fotográfico semanal para analizar la evolución de las probetas.

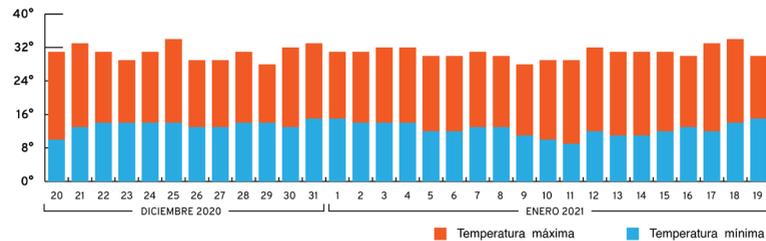


Figura 37

Temperatura registrada durante el período Diciembre-Enero.

Fuente: Elaboración propia basado en la data de (www.accuweather.com).

5.5.2. Degradación natural

Para la realización del ensayo de degradación natural se referenció el procedimiento indicado en la norma ASTM D6400-04 “Especificación estándar para plásticos compostables”, en esta se detallan las condiciones de degradación de un material plástico en un sustrato sólido, enfocado en el compostaje en instalaciones municipales e industriales.

La norma establece que para que un material sea considerado biodegradable es necesario que la degradación del 60-90% del material ocurra en un período de seis meses (180 días), además, tras doce semanas de exposición (90 días), el material se debe haber desintegrado en fragmentos que no superen los 2mm x 2mm, por último, la degradación del material no debe afectar negativamente a la calidad del sustrato (ASTM, 2004).

Se prepararon seis probetas de 25mm x 25mm x 3mm del material, las cuales fueron enterradas a 50mm de la superficie en un recipiente impermeable con tierra húmeda, como se muestra en la **Figura 38**. El ensayo se prolongó por seis semanas entre los meses de enero y febrero, con una temperatura ambiente y humedad del sustrato constante y el proceso de degradación de las probetas fue registrado semanalmente.



Figura 38

Probetas del material para el ensayo de degradación natural.

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Evaluación perceptual del material

Los ensayos anteriores permitieron caracterizar el material desde una dimensión técnica, sin embargo, a fin de ampliar la visión que se tiene del material, este fue evaluado desde la percepción de distintos usuarios, lo cual, tal como establecen algunos autores, permite un acercamiento al material desde una dimensión interpretativa, sensorial, afectiva y performativa (Karana, 2009; Rognoli, 2010; Ludden, Schifferstein & Hekkert, 2008; Giaccardi & Karana, 2015).

Estas dimensiones antes mencionadas se ven reflejadas en la metodología *Material Driven Design* (MDD), que define el concepto “experiencia de materiales” como la experiencia que las personas crean con el material y a través de él, es decir, no limitar el conocimiento del material sólo por lo que es, sino también por lo que hace, lo que nos expresa, lo que nos provoca y nos hace hacer (Karana *et al.*, 2015).

Para identificar estos aspectos a los que se hace referencia, se decidió poner el material al alcance de tres grupos de usuarios potenciales a través de una encuesta de diferencial semántico. A su vez, se incorporaron una serie de preguntas que permitieron articular la intención de diseño en torno al material y facilitar el proceso de generación de propuestas en la siguiente etapa.

5.6.1. Diferencial semántico

El investigador Charles Osgood desarrolló el instrumento del diferencial semántico como un medio para evaluar de forma cuantitativa la percepción de un objeto o una imagen a través del valor connotativo que se le otorga a este (Osgood *et al.*, 1957).

La aplicación de este método consiste en evaluar un objeto a partir de una escala con un valor intermedio neutro y cuyos extremos representan adjetivos o atributos bipolares definidos según el propósito específico de la investigación (Aros *et al.*, 2009), instando a que la persona encuestada se incline en algún grado por los conceptos planteados o se mantenga neutro.

a) Población de estudio

La población de estudio se dividió en tres grupos objetivos detallados en la **Tabla 20**, además, debido a las medidas de confiabilidad en el país, se optó por aplicar dos series de diferenciales semánticos: uno remoto con personas encuestadas a través de la plataforma “*Google Forms*” con registro audiovisual del material (serie 1) y otro con personas que tuviesen contacto directo con el material (serie 2), para comprobar si la experiencia directa con este puede (o no) cambiar la percepción sobre el material.

Tabla 20: Grupos de encuestados para el diferencial semántico

Nombre del grupo	N° de encuestados		Descripción del grupo
	Serie 1	Serie 2	
Grupo de diseñadores y áreas afines	10	10	Personas con una formación profesional asociada al diseño, las artes y la arquitectura.
Grupo de tendencia al consumo consciente y responsable	15	5	Personas con cierto grado de interés en temas de sostenibilidad, con un comportamiento social y de consumo consecuente con criterios medioambientales.
Grupo de control	15	5	Personas mayores de 18 años, con o sin formación profesional y que no formen parte de los grupos antes mencionados.

Fuente: Elaboración propia.

b) Atributos bipolares

Se definieron un total de 33 pares de atributos bipolares orientados a valores interpretativos, sensoriales y afectivos que puede evocar el material, proyectando también las cualidades esperadas de este. El estudio tomó como referencia los atributos planteados en el *toolkit* de caracterización experiencial de Camere & Karana (2018), además, resulta importante indicar que, si bien algunos de los conceptos abordados no están definidos por una relación de jerarquía o equivalencia, estos se evocan mutuamente por asociación de ideas.

c) Probetas del material

Se presentaron tres muestras del material a los encuestados: una pieza moldeada con forma de semiesfera de $\varnothing 100\text{mm}$ y 4mm de espesor y dos muestras de formato laminar de 80mm x 80mm de 1mm y 3mm de espesor, con esto se buscó abordar el material a través de formas simples, de carácter neutral pero que permitiesen vislumbrar algunas de sus cualidades. Para la encuesta digital se realizaron dos fotografías de cada una de las piezas elaboradas (Figura 39) y un video de 1 minuto manipulando brevemente el material.

d) Aplicación de la encuesta

En primera instancia se optó por hacer una breve introducción al objetivo y al carácter de la encuesta, aclarando que todas las muestras expuestas correspondían a un mismo material derivado de un residuo, sin informar de cual se trataba.

Conforme a ello, los participantes de la encuesta recibieron el formulario del diferencial semántico detallado en el [anexo 2](#) y analizaron las muestras entregadas para luego evaluar de forma individual cada uno de los atributos bipolares en una escala de 7 valores, donde -3 y 3 representaban los extremos de los pares opuestos y 0 el punto neutral. Al finalizar la encuesta se hicieron seis preguntas de desarrollo orientadas a encontrar *insights* del área de aplicación. Las conclusiones y resultados obtenidos de cada grupo fueron expuestos en gráficos.

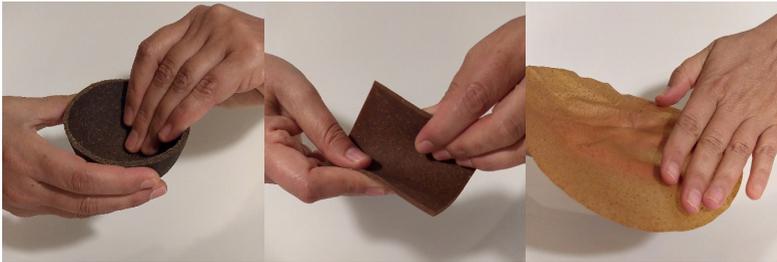
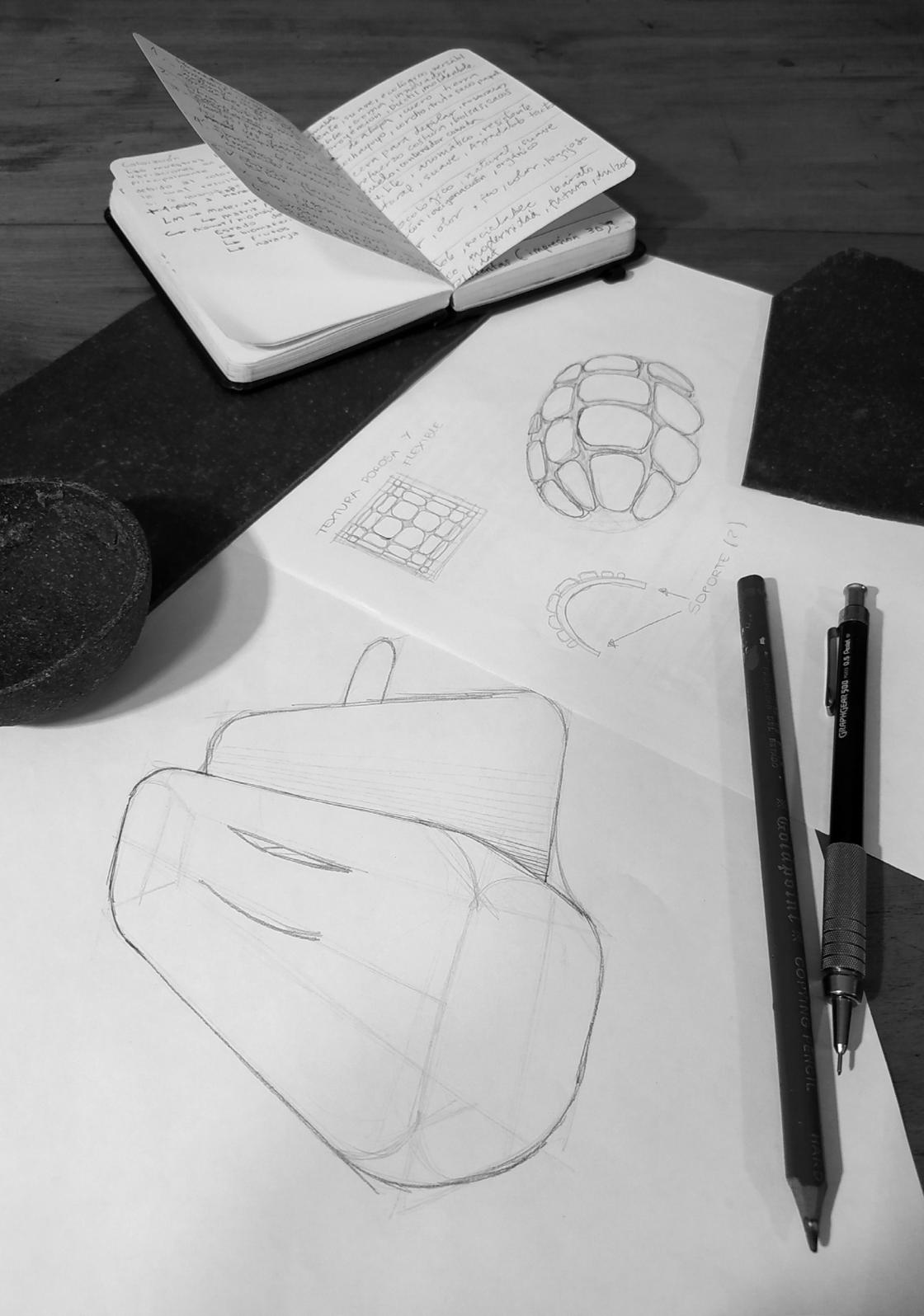


Figura 39
Probetas para la evaluación perceptual del material. Fuente: Elaboración propia.





6 Validación del material

Habiendo ahondado en variados aspectos del material tanto en su dimensión técnica como experiencial/perceptual, la última etapa del proyecto busca validar el material basado en residuos cítricos mediante la exploración y desarrollo de propuestas de aplicación que asimilen los conocimientos generados con el material y a través de él.

Tabla 21: Etapa de validación del material

Etapa de validación: Validar el material mediante el diseño de propuestas de aplicación que aprovechen sus propiedades.	
Actividades	Tareas
A) Generar, evaluar y seleccionar propuestas de aplicación del material.	<ul style="list-style-type: none"> - A modo de síntesis, esquematizar las distintas propiedades observadas del material. - Establecer un mapa de los posibles actores involucrados tanto en el proceso de fabricación como en la recepción del producto final. - Desarrollar una lluvia de ideas para la generación de propuestas de aplicación del material. - Evaluar y seleccionar las propuestas de aplicación del material según aquellas que aprovechen mejor sus propiedades.
B) Diseñar y prototipar propuestas de aplicación del material.	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los requerimientos en el diseño de las propuestas. - Generar propuestas conceptuales mediante distintas técnicas de representación visual. - Fabricar prototipos funcionales y evaluar su funcionamiento en contexto.

Fuente: Elaboración propia

6.1. Planteamiento de propuestas de aplicación del material

El desafío de articular un proceso creativo teniendo el material como único punto de partida radica en que, en una primera instancia, ni el objeto a diseñar, ni el usuario, ni las necesidades se encuentran definidas y, por tanto, las propias cualidades del material resultan predominantes a la hora de encaminar el proyecto hacia distintas propuestas.

En este sentido, el desarrollo de un producto implica el dominio de los aspectos técnicos y experienciales/perceptuales del material, para así, determinar las oportunidades y restricciones de este y establecer un margen de acción que facilite el generar propuestas de aplicación.

El procedimiento previo a la generación, evaluación y selección de propuestas consistió en la elaboración de un mapa mental que permitiese agrupar las cualidades del material definidas durante la etapa de caracterización. Este esquema se utilizó a modo síntesis visual para la comprensión de las distintas aristas del material y la exploración de ideas en torno a la aplicación de este.

Se tomó como esquema referencial la “Estructura de información para el diseño de producto” de Ashby & Johnson (2002) (Figura 40), incorporando además los criterios de sostenibilidad propuestos al comienzo de la investigación, así como también distintos aspectos constructivos, observaciones y asociaciones surgidas a partir de la exploración del material.

El esquema de Ashby & Johnson (2002) plantea cinco elementos que convergen en el diseño de un producto: material, procesos, estética, percepción e intención. La intención de diseño representa la visión general y las prioridades que guían el proceso de toma de decisiones, por ejemplo: diseño para uso público, diseño para la sostenibilidad, diseño para la producción en masa, diseño para la tercera edad, entre otros. Los cuatro elementos restantes abordan distintos atributos o características que contribuyen a la funcionalidad, usabilidad y personalidad del producto a diseñar.

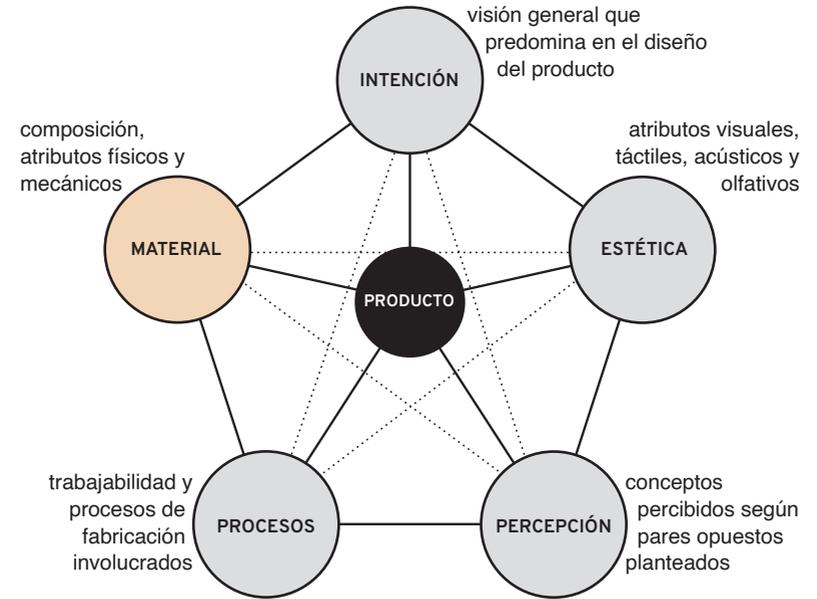


Figura 40
Estructura de información para el diseño de producto.
Fuente: Adaptado de (Ashby & Johnson, 2002).

Si bien entonces es posible determinar un usuario específico a partir de la intención de la propuesta de producto, también resulta relevante validar el material mediante la definición de escenarios proyectivos para el desarrollo, uso y posible comercialización de este, para esto, es necesario dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿El valor de la propuesta está puesto en la metodología aplicada, en el desarrollo del material o en el desarrollo de productos a partir de este?
- ¿Qué actores estarían involucrados en su fabricación? y ¿Quiénes serían los usuarios del material o producto?

6.1.1. Generación de propuestas

A partir del ejercicio de revisión de referentes, la esquematización de las cualidades del material a través del mapa síntesis, se generó un proceso de asociación de conceptos que dio origen a una lluvia de ideas de propuestas de aplicación para el material resultante. Las ideas fueron agrupadas en las siguientes categorías: envasaje y contenedores, talabartería/marroquinería, indumentaria, decoración interior, iluminación, menaje de cocina, construcción y otros.

6.1.2. Evaluación y selección de propuestas

Las propuestas de aplicación fueron evaluadas por medio de una matriz para la toma de decisiones, la matriz de Pugh. Este instrumento permite valorar cada propuesta (fila) en función de las propiedades del material (columnas), determinando si esta última implica una influencia positiva (+1), negativa (-1) o neutral (0) al correcto funcionamiento de la propuesta de producto, finalmente, se establece una valoración por sumatoria que permite comparar cada idea generada y elegir aquellas que mejor cumplan con los criterios de selección (Tabla 22).

Tabla 22: Matriz de Pugh para la evaluación y selección de ideas

Propuestas de aplicación			Criterios de selección			Puntaje
			Propiedad A	Propiedad B	Propiedad C	
			Intención A	Propuesta 1		
		Propuesta 2				
	Intención B	Propuesta 3				
		Propuesta 4				
	Intención C	Propuesta 5				
		Propuesta 6				

Fuente: Elaboración propia

6.2. Diseño y prototipado de propuestas de aplicación del material

Se seleccionaron dos propuestas en base a los alcances del material proyectados en el mapa de actores y los resultados obtenidos en la matriz de Pugh. Ambas propuestas se articularon con la intención primaria del *Diseño para la Sostenibilidad*, considerando los criterios planteados al inicio de la investigación y entendiendo el compuesto biobasado de cáscara de naranja como un material diseñado para un ciclo de vida circular.

Las propuestas a desarrollar integran distintas cualidades del material asociadas tanto a sus aspectos técnicos (propiedades físicas y procesos) como a sus aspectos experienciales (estética y percepción) y se enmarcan en dos escenarios proyectivos presentados en la Figura 41.



Figura 41 Propuestas de aplicación seleccionadas. Fuente: Elaboración propia.

El diseño y prototipado de propuestas consistió en el planteamiento de requerimientos de diseño para la aplicación dada, el desarrollo conceptual mediante distintas técnicas de representación visual (moodboards, bocetos, modelos digitales, renders, entre otros) y la fabricación de un prototipo funcional.

6.2.1. El material como propuesta de diseño de autor

Pantalla para luminaria de interior

La pantalla para luminaria de interior surge a partir del escenario proyectado del “*material como propuesta de diseño de autor*”, cuya intención es realzar el valor estético del material con relación a su interacción con la luz.

Esta propuesta se desprende de los aspectos explorados durante las pruebas de moldeado, donde el material demostró una sobresaliente capacidad para replicar los moldes texturizados y las muestras expuestas a contraluz presentaron múltiples tonalidades debido al grado de translucidez que le otorgaba cada espesor.

Se plantea entonces desarrollar una pantalla para luminaria cuya superficie posea un patrón texturizado con distintos relieves.

a) Requerimientos de diseño

Se establecieron requerimientos de diseño considerando la posibilidad de fabricar la pantalla desde un formato laminar o como sólido estructural a partir de moldes cerrados:

- Se deben trabajar volúmenes con un espesor entre 1 y 5 mm para asegurar mayor penetración de la luz en el material, mayor flexibilidad en las piezas y menor tiempo de secado.
- La superficie texturizada de la luminaria debe poseer como mínimo dos espesores distintos.
- Se debe utilizar una fuente de luz cálida LED (diodo emisor de luz), con una temperatura de color entre los 2700°K y 3200°K.
- La luminaria debe brindar una luz atenuada, intencionada para iluminación de ambiente.
- Se debe considerar un equipo eléctrico y sistema de montaje de la pantalla que se integre con naturalidad a la forma de la luminaria a diseñar.

b) Génesis formal

Conceptos: cálido, orgánico, poroso, progresivo, enlazado.

El objetivo de la exploración inicial de patrones y texturas fue definir un lenguaje formal que guiara la intención estética de la propuesta, para esto se realizó un moodboard que reunió distintas estructuras orgánicas y fractales presentes en la naturaleza, tomando la textura de la cáscara de naranja como elemento central de la composición (Figura 43).



Figura 42
Moodboard de texturas orgánicas. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 43** presenta la exploración de texturas y formas a través de bocetos que culminaron en la definición de la propuesta de pantalla que integra ambos aspectos.

Se optó por desarrollar una pantalla cilíndrica con un patrón de elipses en relieves positivos y negativos. Las dimensiones proyectadas tras el secado del material serían de 250 mm de diámetro exterior y 150 mm de altura.

Debido a criterios constructivos del prototipo, se priorizaron aquellos volúmenes que se formarían desde el plano, uniéndose o ensamblándose desde los extremos.

No se descarta desarrollar a futuro nuevos volúmenes más complejos o que puedan integrar tanto la pantalla como un sólido estructural que soporte el equipo eléctrico de la luminaria.

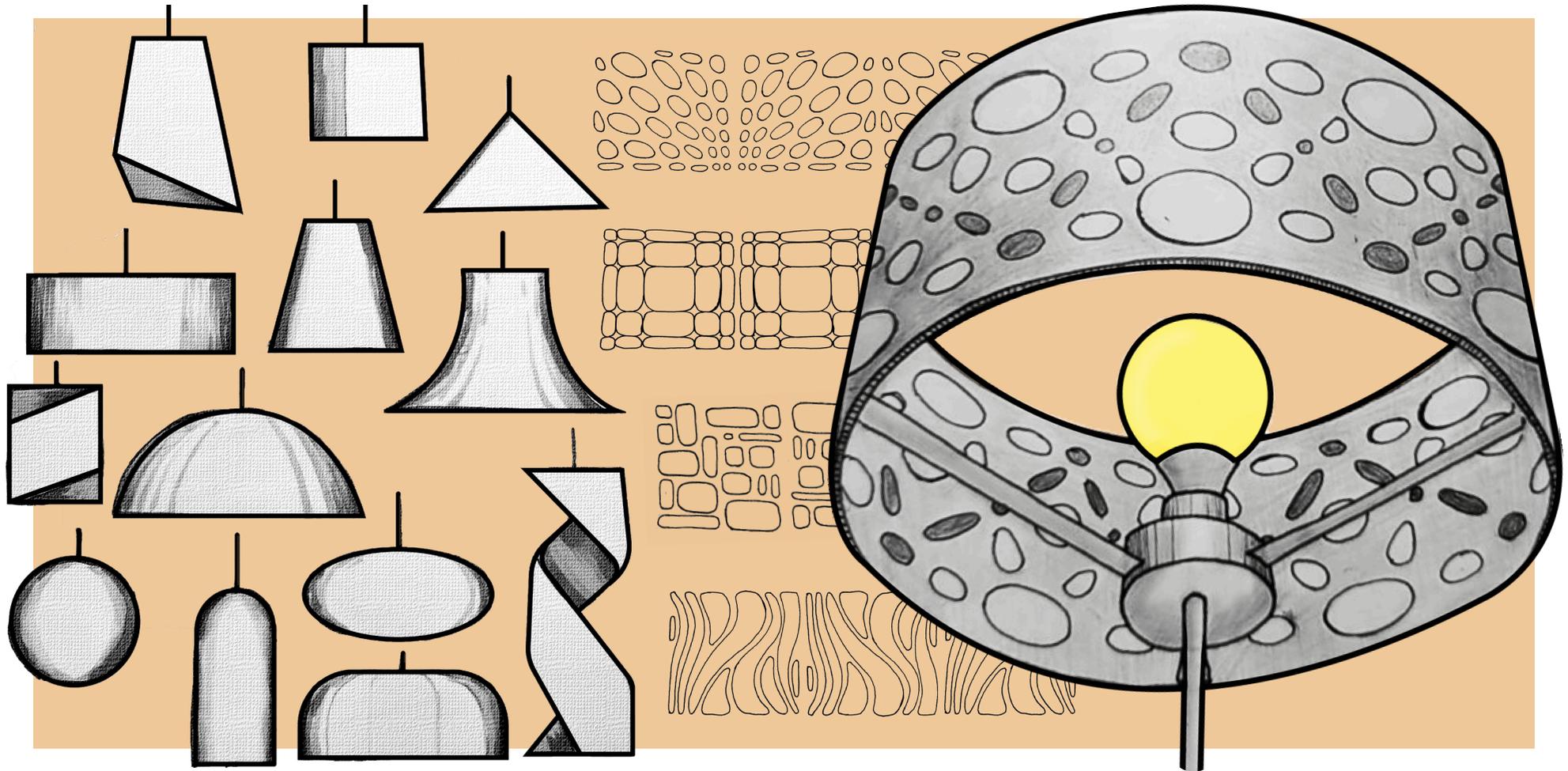


Figura 43
Exploración de texturas y formas para la pantalla. Fuente: Elaboración propia.

c) Fabricación del prototipo

A partir de los bocetos elaborados se desarrolló un modelo digital en el software *Rhinceros*, utilizando la herramienta de diseño generativo *Grasshopper* (Figura 44). Los parámetros ingresados a la composición permitieron generar una malla con puntos de dispersión que formaban elipses de distintos tamaños, consiguiendo una estructura orgánica, porosa y que incrementa de forma progresiva.

La Figura 45 muestra la superficie resultante y los tres espesores definidos para las distintas geometrías presentes en el material: elipses grandes de 1,5 mm (color rojo), elipses pequeñas de 5 mm (color azul) y la malla base de 3,5 mm (color gris).

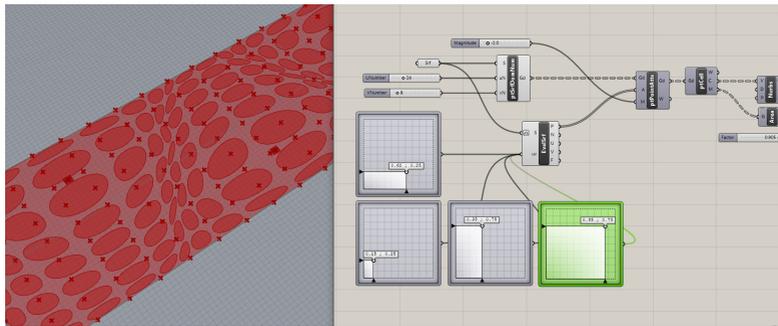


Figura 44
Modelo digital en *Rhinceros/Grasshopper*. Fuente: Elaboración propia.

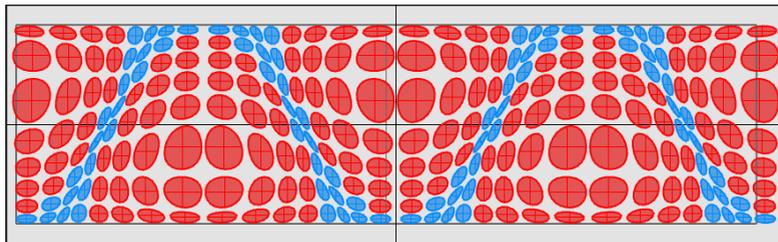


Figura 45
Superficie y espesores definidos para la pantalla. Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó el mismo procedimiento de conformado utilizado durante la prueba de moldes laminares texturizados.

En vista de que el material experimenta una reducción del 20-25% de su volumen inicial, el molde se sobredimensionó para obtener el tamaño deseado en la pantalla.

Se fabricó la matriz sobre una plancha de MDF de 15 mm utilizando un router CNC (Control Numérico Computarizado). La pieza resultante fue lijada y sellada para evitar que absorbiera la humedad del material cuando se aplicara.

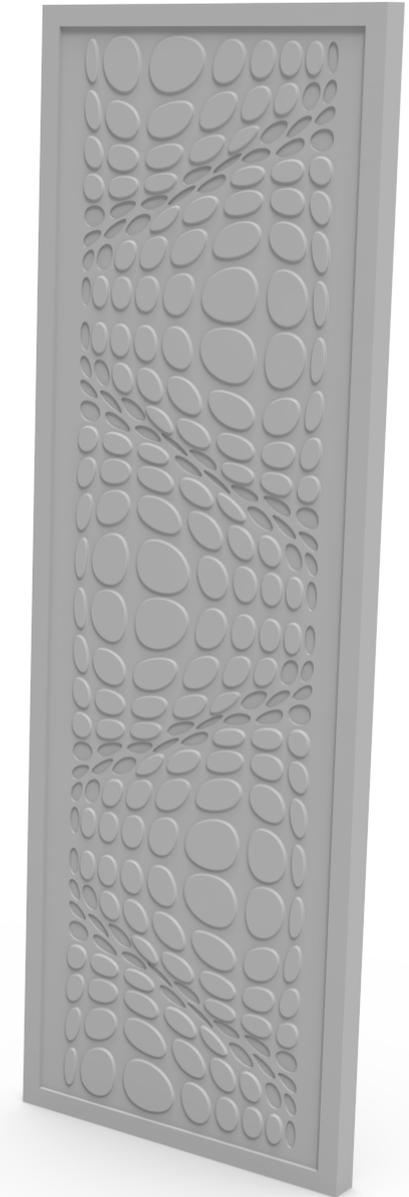


Figura 46
Modelo digital del molde utilizado en la pantalla. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. El material como producto comercializable

“MANARA”, material biobasado de naranja

El conjunto de objetos propuestos a continuación se enmarca en la generación de propuestas del “*material como producto comercializable*”, escenario proyectivo que se centra exclusivamente en la fabricación de láminas del material para ser trabajadas por artistas, diseñadores, artesanos o distintas marcas.

La propuesta surge a partir de la gran semejanza estética del material al cuero, asociación recurrente durante el ensayo perceptual realizado. Esta reminiscencia permite perfilar el material como una alternativa vegana, orgánica y sostenible que, por sus características naturales y estéticas, otorga personalidad, elegancia y nobleza al objeto a trabajar, rescatando las cualidades estéticas del cuero y agregando los valores propios del material.

De esta manera, se presentan tres alternativas de objetos a desarrollar con el material, de uso cotidiano, fabricación simple y asociadas al oficio de la talabartería/marroquinería, categoría que obtuvo las mayores puntuaciones en la matriz de Pugh:

Objeto 1: Encuadernación artesanal

Objeto 2: Billetera / porta documentos

Objeto 3: Estuche enrollable para lápices

a) Requerimientos de diseño

Se buscó generar objetos monomateriales, idealmente fabricados en una sola pieza unida en base a pliegues, ensambles o selladas por calor. Además, se prevee incorporar un recubrimiento impermeabilizante natural que no modifique las características mecánicas del material para asegurar mayor durabilidad en los productos desarrollados.



Parte III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN





7 Experimentación y diseño del material compuesto

La etapa de **experimentación y diseño del material compuesto** se caracterizó por un largo proceso iterativo que culminó en la definición de los componentes y proporciones a utilizar, así como también en la esquematización del proceso de elaboración del material y los costos asociados a la producción de este.

7.1. Proceso de elaboración del material

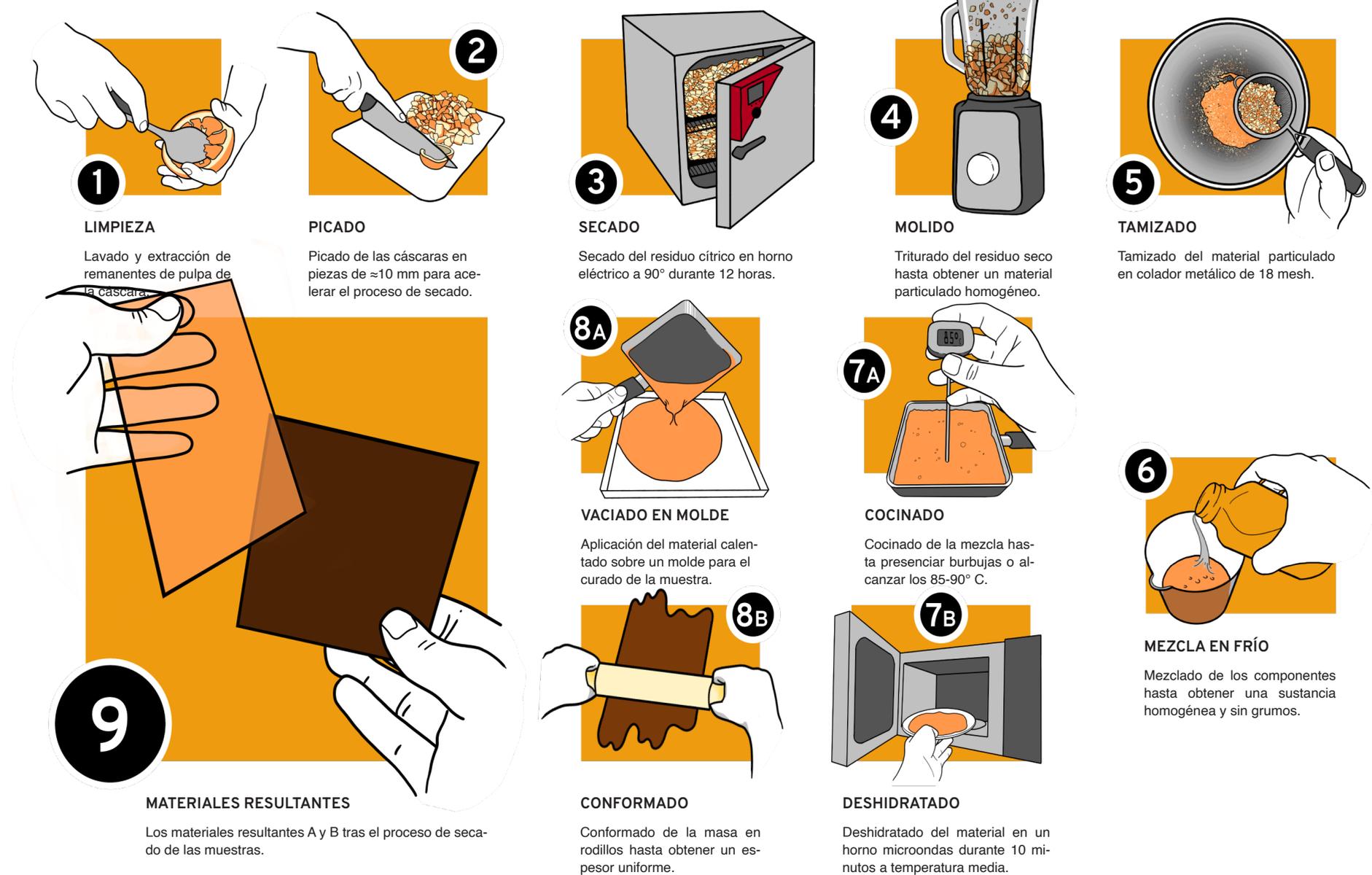


Figura 47 Esquema detallado del proceso de elaboración del material. Fuente: Elaboración propia.

7.1.1. Procesamiento del residuo cítrico

El procesamiento del residuo cítrico se realizó acorde a los pasos detallados en la etapa de métodos y el esquema anterior. La materia prima utilizada para la elaboración de probetas fue principalmente cáscara de naranja debido a la amplia e inmediata disponibilidad del residuo, aunque de igual manera se procesó un menor volumen de residuos de otras especies de cítricos como el limón y la mandarina, obteniendo resultados similares a los de la naranja, con ligeras diferencias en los tiempos de secado, el color y la intensidad del aroma de las partículas resultantes, características que también se vieron afectadas por el proceso de secado de la materia prima (Figura 48).



Figura 48
Tonales resultantes tras la molienda del residuo. Fuente: Elaboración propia.

Densidad de las partículas de naranja La medición de la densidad aparente de la materia prima procesada se realizó con partículas de naranja de un tamaño menor o igual a 18 mesh (1mm), dando como resultado 0,47 g/cm³, cifra que se acerca a la densidad aparente planteada en el estudio de Pathak *et al.* (2017) y permite hacer un cálculo estimativo del volumen de las muestras en función de los gramos utilizados para confeccionar el material.

Tabla 23: Resultados de densidad de las partículas de naranja

Tamaño de partícula (mesh)	Densidad aparente (g/cm ³)
≤18	0,47

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Observaciones del proceso experimental con aglutinantes

En la Figura 49 se exponen las probetas del material elaboradas con distintos aglutinantes: agar-agar, alginato, carragenina y almidón de maíz.

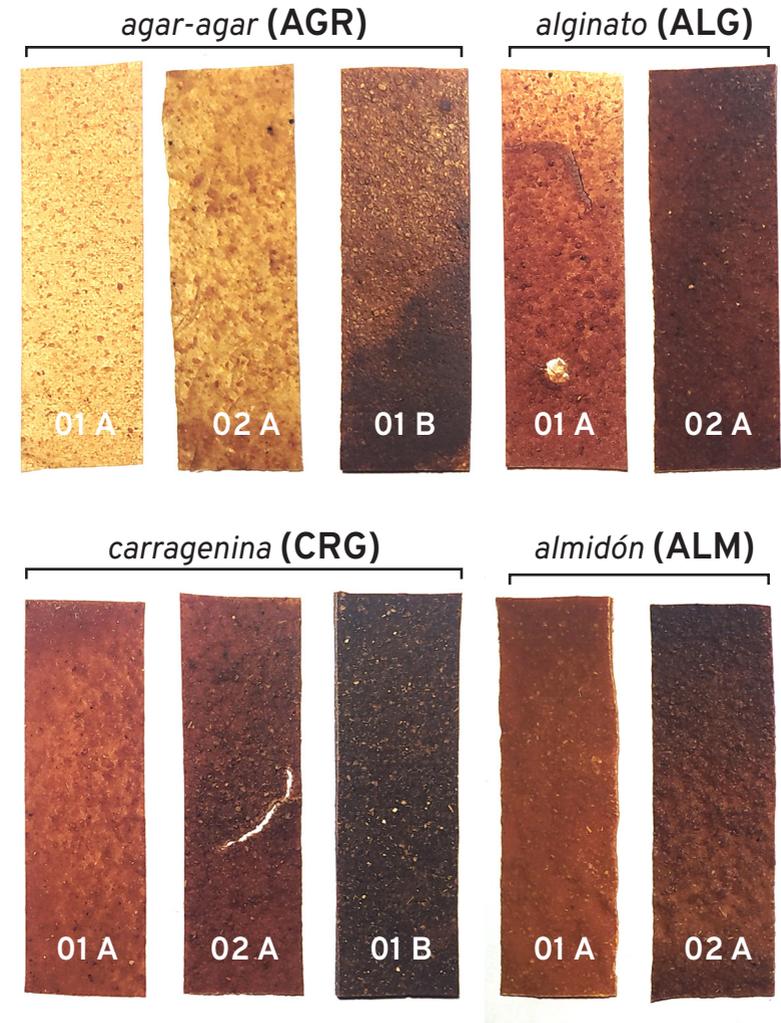


Figura 49
Resultados de la experimentación con aglutinantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Resultados de la experimentación con aglutinantes

Probeta	Composición (%)					Tiempo de preparación		Reducción de peso (%)	Reducción de espesor (%)	Reducción de área (%)	Uniformidad de espesor	Estabilidad dimensional	Agrietamiento o rotura	
	Cáscara	Aglutinante	Plastificante	Agua	Otro aditivo	Fabricación*	Secado							
AGR	01 A	60	20	20	600	No	15 min	40 horas	85 %	77 %	43 %	5	3	3
	02 A	75	15	10	600	No	15 min	48 horas	78 %	72 %	37 %	4	3	4
	01 B	60	20	20	200	No	20 min	12 horas	63 %	15 %	25 %	5	5	5
ALG	01 A	60	20	20	400	Si, cloruro de calcio.	15 min	96 horas	95 %	77 %	48 %	3	3	2
	02 A	75	12,5	12,5	400	Si, cloruro de calcio.	15 min	96 horas	93 %	80 %	52 %	4	3	4
CRG	01 A	60	20	20	600	No	15 min	48 horas	88 %	82 %	46 %	4	2	3
	02 A	75	15	10	600	No	15 min	48 horas	83 %	79 %	41 %	3	3	2
	01 B	60	20	20	200	No	20 min	16 horas	67 %	21 %	29 %	5	4	5
ALM	01 A	60	20	20	600	Si, bicarbonato de sodio y vinagre.	20 min	52 horas	82 %	85 %	41 %	4	3	2
	02 A	75	15	10	600	Si, bicarbonato de sodio y vinagre.	20 min	48 horas	76 %	82 %	38 %	4	2	1

*Proceso que comprende la mezcla en frío de los componentes y la etapa de cocinado/deshidratado

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 24** expone los resultados de la experimentación con aglutinantes para la evaluación y selección de componentes definitivos del material.

En términos generales, las muestras de material resultantes presentaron un acabado superficial mate, textura rugosa, tonalidades entre anaranjado y marrón, translucidez y un acentuado aroma dulce. Además, debido al alto contenido de agua en la composición, se evidenció una reducción considerable en el peso, espesor y tamaño de las probetas tras el secado, siendo en algunos casos una disminución del 90% de su volumen original.

A continuación se exponen algunos de los aspectos generales observados tanto en el proceso de fabricación de las probetas como en la apariencia resultante de las mismas:

a) Proceso de secado

El medio principal para el secado de las probetas en épocas estivales fue el secado a la intemperie con sol indirecto, proceso que se prolongó desde las 12 horas hasta los 4-5 días de secado dependiendo del contenido de agua de la probeta. Si bien este escenario no implicó un mayor consumo energético, depender de las condiciones de temperatura y humedad del ambiente truncó en varias ocasiones el correcto proceso de secado del material.

Entre las soluciones que surgieron a raíz de esta situación de dependencia climática, aquella que obtuvo mejores resultados fue la fabricación de un contenedor conectado a un secador de aire caliente que se encendía en intervalos de 5 minutos programados con un temporizador digital, permitiendo mantener una temperatura constante en el contenedor, circular el aire caliente y agilizar el proceso de secado de las probetas.

b) Estabilidad dimensional

La estabilidad dimensional fue un aspecto de gran relevancia a la hora de evaluar las probetas fabricadas, ya que la mayoría de estas presentaron una significativa disminución en su volumen original y algún grado de deformación producto del encogimiento y contracción del material durante el proceso de secado. Esta situación es propia de materiales cuya composición incorpora agua, ya que su estructura se modifica en la medida que va perdiendo contenido de humedad, ocasionando que el material se contraiga desde los extremos hacia el centro o que se agrieten secciones de la probeta que secan a ritmos dispares.

Si bien la naturaleza del material dificultó obtener muestras de formato laminar completamente lisas y uniformes, el proceso iterativo en la fabricación de probetas permitió determinar la relación entre la proporción de la mezcla y el espesor de probeta óptimo para obtener un menor índice de contracción del material.



Figura 50
Contracción del material durante el proceso de secado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 51
Antes y después del prensado de una probeta. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en vista de los resultados observados con las probetas del proceso A (*Líquido de material para vaciado*), se decidió explorar una línea alternativa al método de fabricación inicialmente propuesto, bajo la hipótesis de que al disminuir la cantidad de agua utilizada en las muestras, disminuiría también el índice de contracción del material, surgiendo así el proceso B.

En este, la mezcla aglutinada era poco acuosa y perdía cerca del 50% de su contenido de humedad durante el curado del aglutinante, por tanto, las diferencias del volumen inicial y final tras el proceso de secado del material eran mínimas, al igual que su contracción. Además, algunas probetas pudieron ser parcialmente rectificadas al prensarlas con calor entre dos láminas de latón.

c) Cuidados del aglutinante

En relación al almacenaje, los componentes se mantuvieron en un lugar limpio, fresco y seco a fin de preservar de manera óptima sus características. Por otra parte, durante la realización de las probetas se trabajaron las mezclas de manera rigurosa a fin de evitar posibles alteraciones en el resultado final del material; la gelificación o curado abrupto del aglutinante deriva en la formación de grumos y burbujas en la mezcla, las cuales posteriormente generan roturas, grietas o irregularidades en el espesor del material.



Figura 52
Agrietamiento y mezcla mal aglutinada en una probeta. Fuente: Elaboración propia.

d) Presencia de hongos

En ocasiones donde las probetas tardaron más de 5 días en secar completamente o bien estuvieron expuestas a condiciones de humedad prolongada, se presencié la aparición de manchas de moho superficiales en el material y casos donde los hongos proliferaron en la totalidad de la probeta.

Esta fue una situación común en períodos de invierno, donde las temperaturas no alcanzaban los 10°C, por lo que se determinó utilizar métodos complementarios como añadir sal o propionato de calcio a la mezcla a fin de inhibir el crecimiento de moho y otros hongos. Esta última adición modificaba en gran medida el olor natural del material, por lo que se descartó y finalmente se optó por acelerar el proceso de secado dentro de márgenes de tiempo donde la humedad del material no diera paso al crecimiento de hongos en las probetas.



Figura 53
Presencia de moho en las probetas. Fuente: Elaboración propia.

e) Relación aglutinante-plastificante

Se pudo determinar que a mayor cantidad de plastificante las probetas presentaron cualidades más elásticas y flexibles. Del mismo modo, fue posible apreciar que a mayor cantidad de aglutinante las probetas se manifestaban más rígidas y quebradizas.

Frente a estas respuestas observadas, es posible inferir que la relación de proporción entre aglutinante y plastificante determinaría en gran medida la cualidad mecánica esperada del material.

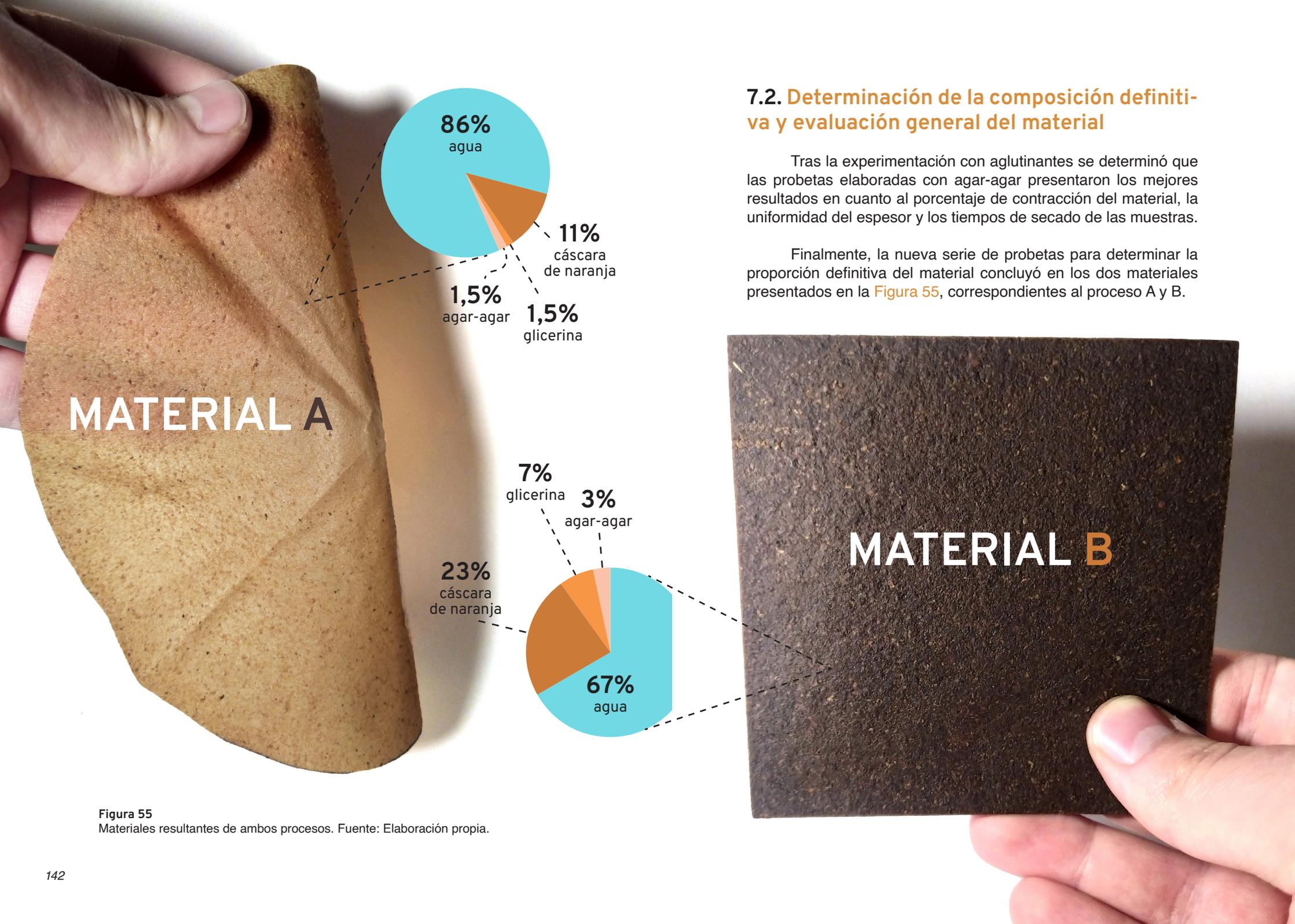
f) Recomposición del material

Un aspecto particular analizado durante la experimentación con agar-agar y carragenina fue su carácter de gel termorreversible, es decir, la capacidad de revertir su proceso de solidificación a través de la aplicación de calor en un medio acuoso.

Esta cualidad del aglutinante abrió la posibilidad de recomponer retazos/sobrantes de probetas al agregarles agua y calentar la mezcla nuevamente en un sartén. De esta manera, el material se desintegró en agua a una temperatura cercana a los 90°C y volvió a formarse el líquido para vaciado (proceso A). Se observó que esta característica no fue replicable con las probetas de almidón de maíz y alginato, puesto que sus procesos de gelificación distan de los observados con los otros aglutinantes.



Figura 54
Proceso de recomposición del material. Fuente: Elaboración propia.



7.2. Determinación de la composición definitiva y evaluación general del material

Tras la experimentación con aglutinantes se determinó que las probetas elaboradas con agar-agar presentaron los mejores resultados en cuanto al porcentaje de contracción del material, la uniformidad del espesor y los tiempos de secado de las muestras.

Finalmente, la nueva serie de probetas para determinar la proporción definitiva del material concluyó en los dos materiales presentados en la [Figura 55](#), correspondientes al proceso A y B.

Figura 55
Materiales resultantes de ambos procesos. Fuente: Elaboración propia.

Las mayores diferencias entre ambos materiales desarrollados se evidenciaron en el tiempo de secado, translucidez y espesor de las muestras resultantes. El material A presentó una significativa disminución de su espesor tras el secado, obteniendo láminas muy delgadas con una textura similar al papel. Por otra parte, el material B mantuvo inalterado su espesor, sin embargo, la compactación de las partículas de naranja y la cantidad de plastificante utilizado tendieron a oscurecer las muestras resultantes.

7.2.1. Costos de producción del material

La **Tabla 25** expone el consumo energético (kWh) asociado al equipo eléctrico utilizado en las distintas etapas comprendidas en la fabricación del material.

Tabla 25: Resultados del consumo energético del material

Etapa	Proceso			Consumo del proceso (kWh)
	Equipo	Consumo (W)	Horas (h)	
Procesamiento del residuo cítrico	Horno eléctrico	800	12	9,6
	Molinillo	160	0,5	0,08
Consumo total de la etapa 1				9,68 kWh
Fabricación del material A	Cocina eléctrica	1400	0,3	0,42
Consumo total de la etapa 2				0,42 kWh
Fabricación del material B	Batidora	400	0,05	0,02
	Horno Microondas	700	0,2	0,14
	Plancha	1200	0,5	0,6
Consumo total de la etapa 2'				0,76 kWh

Fuente: Elaboración propia.

El valor del kilovatio/hora (kWh) en la zona residencial de Santiago Centro es de \$75,86 pesos chilenos (Enel, 2021), es posible estimar entonces que el consumo eléctrico asociado a la fabricación del material B se acerca a los \$58 pesos para volúmenes de producción entre los 100 y 3000 cm³, capacidad máxima que se puede trabajar con el equipo eléctrico disponible (horno eléctrico, cocina eléctrica y horno microondas).

Si bien este cálculo puede no reflejar con exactitud el impacto que implicaría la serialización del material a nivel domiciliario, si ayuda a identificar aquellos puntos críticos del proceso donde se podría optimizar el consumo energético, por ejemplo, el secado del residuo cítrico en hornos podría ser reemplazado por patios de secado al exterior o en cámaras de secado mecánico como las utilizadas para el secado de granos de café.

Por otra parte, los componentes utilizados en la fabricación del material fueron cotizados en *Productos Químicos Chile* (2021) y se determinó el rendimiento con relación al precio de la materia prima y la cantidad utilizada para producir 100 cm³ del material.

Tabla 26: Resultados de los costos de la materia prima

Materia prima	Precio (\$/kg)	Cantidad utilizada en 100 cm ³ del material	Rendimiento del material (\$/100cm ³)
Naranja	-Solo costo de procesamiento del residuo-	0,07 kg	-
Agar-agar	\$32.487	0,01 kg	\$325
Glicerina vegetal	\$3.095	0,02 kg	\$62
Agua destilada o desmineralizada	\$298	0,2 kg	\$60
Costo total para producir 100 cm ³ del material			\$447 CLP

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las cifras expresadas en la [Tabla 26](#) es posible estimar el costo de materia prima en función del volumen de la pieza que se pretende realizar, por ejemplo, una lámina de 1 m² y 3 mm de espesor tendría un volumen de 3000 cm³, por lo tanto, su costo de materia prima sería de \$ 13.410 CLP (pesos chilenos).

El agar-agar es el componente de mayor valor comercial en el material (\$ 32.487 pesos chilenos el kilogramo), si bien el porcentaje utilizado es mínimo, el desarrollo del compuesto de cáscara de naranja en el contexto de la pequeña y mediana empresa (PYME) implicaría crear redes con proveedores locales que permitieran abaratar los costos de la materia prima requerida.

Resulta importante destacar que el agar es un componente extraído de algas rojas como el pelillo, materia prima abundante en el sur de Chile y de las pocas algas que se cultivan en el país.





8 Caracterización del material

La etapa de **caracterización del material** contempló el estudio de las dimensiones técnicas y experienciales del material a través de ensayos físicos, mecánicos, de trabajabilidad, resistencia a agentes externos y perceptuales, obteniendo como resultado una ficha técnica que agrupa las propiedades del material.

8.1. Ensayos físicos del material

8.1.1. Densidad

Tabla 27: Determinación de densidad de probetas A y B

Probeta	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
A1	2,8	2,12	1,31
A2	2,6	2,34	1,11
A3	2,7	2,63	1,03
A4	3,6	3,03	1,18
A5	3,1	2,70	1,15
Promedio A	3	2,56	1,16
B1	9,8	7,17	1,37
B2	8,7	6,62	1,31
B3	8,8	6,72	1,30
B4	10,4	7,58	1,37
B5	9,2	6,81	1,35
Promedio B	9,4	7,0	1,34

Fuente: Elaboración propia.

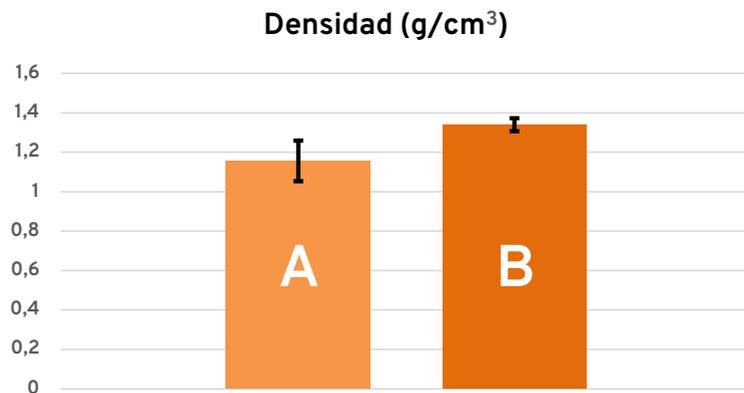


Figura 56
Promedio de densidad de las probetas analizadas. Fuente: Elaboración propia.

La densidad del grupo de probetas A fue de 1,16 g/cm³ (1160 kg/m³), mientras que B fue de 1,34 g/cm³ (1340 kg/m³), los resultados de las probetas están agrupados muy cerca del promedio y por lo tanto la desviación estándar es baja. El gráfico de la **Figura 56** presenta la relación de densidad entre los dos promedios obtenidos y la desviación estándar de cada grupo.

Es posible concluir que la diferencia entre las densidades de las probetas A y B está determinada por la cantidad de agua y aglutinante utilizado, además, el proceso B presenta mayor cohesión y compactación entre las partículas del material.

A través del software CES Edupack se posicionó el material junto a otros de densidad similar. El área sombreada en la **Figura 57** representa el rango entre el promedio A y el promedio B, cuyos valores sitúan al material junto a polímeros como el PLA, PET, ABS, Poliéster y TPS o termoplástico basado en almidón (en inglés, *Starch-based thermoplastic*), este último se podría inferir que es el de origen más próximo al material propuesto, ya que es un polímero derivado de un polisacárido soluble en agua.⁵⁷

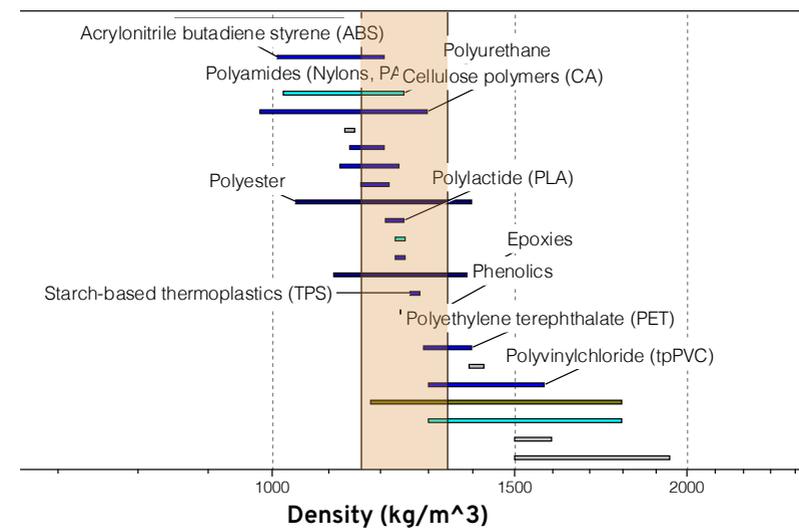


Figura 57
Intersección del material en el software *CES Edupack*. Fuente: Elaboración propia.

8.1.2. Absorción de agua e hinchamiento

Tabla 28: Hinchamiento y absorción de agua tras 1 y 24 horas

Probeta	Hinchamiento		Absorción de agua	
	1 hora (%)	24 horas (%)	1 hora (%)	24 horas (%)
A1	16,7	23,8	128,6	135,7
A2	18,2	22,7	173	184,6
A3	18,2	31,8	159,2	155,6
A4	48,1	37	166,6	191,7
A5	22,3	26,3	153,5	162,3
Promedio A	24,7 %	28,3 %	154 %	166 %
B1	26	28,6	43,8	85,7
B2	29,1	38,2	57,5	97,7
B3	32,7	38,2	55,7	92
B4	24	39,5	44,2	88,5
B5	25,3	36,2	43,3	84,6
Promedio B	27,4 %	36,1 %	48,9 %	89,7 %

Fuente: Elaboración propia.

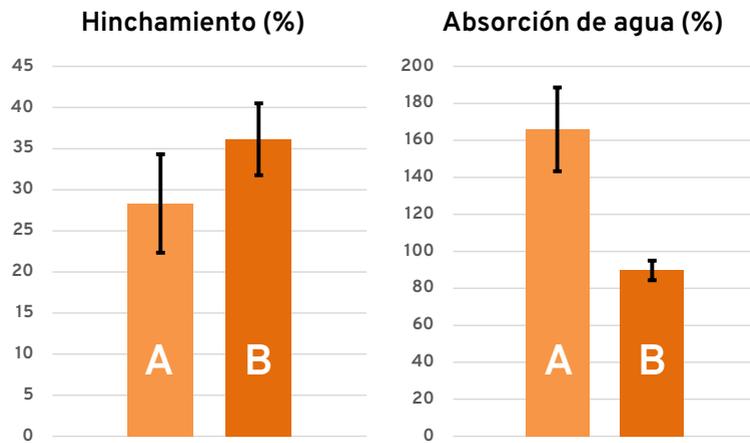


Figura 58
Absorción e hinchamiento de las probetas analizadas. Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje promedio de hinchamiento tras 24 horas de inmersión de las probetas A fue de 28,3%, con una diferencia de 3,6% entre el hinchamiento de la primera hora y el resultado al final del ensayo. Por otra parte, las probetas B presentaron en promedio un hinchamiento del 36,1% de su espesor original, con una variación de 8,7% desde la primera hora. Ambas probetas presentaron un incremento considerable en su peso tras 24 horas de inmersión, con un porcentaje promedio de absorción de agua de 166% para las probetas A y de 89,7% para las probetas B, esta última presentó un aumento significativo del 40,8% entre la primera hora y el final del ensayo.

El registro fotográfico (Figura 59) evidencia algunos de los cambios del material en el transcurso del ensayo. En ambas probetas el agua utilizada tornó en un color amarillo, posiblemente debido al desprendimiento de las partículas de naranja más pequeñas. Además, las probetas A no presentaron mayores modificaciones en su espesor, sin embargo, el material incrementó su tamaño en 20 mm en su largo y ancho. Las probetas B presentaron una gran retención de burbujas de agua al interior de la muestra.



Figura 59
Observaciones del material en los ensayos físicos. Fuente: Elaboración propia.

8.2. Ensayos mecánicos del material

El ensayo de tracción con la norma ASTM D638-14 no obtuvo resultados que permitieran determinar con precisión el comportamiento mecánico del material, esto debido a que un número significativo de probetas enviadas al Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la Universidad del Bío Bío llegaron en mal estado y tuvieron que ser descartadas del ensayo.

8.2.1. Análisis dinamomecánico (DMA)

El análisis dinamomecánico (DMA) realizado para caracterizar el comportamiento viscoelástico del material se ejecutó en tres series detalladas en los gráficos de las Figuras 60 y 61.

Los parámetros evaluados en este estudio se midieron en función del aumento gradual de la temperatura y el esfuerzo aplicado al material:

Módulo de almacenamiento (*Storage Modulus*) Representa el comportamiento elástico del material, es decir, su habilidad para almacenar energía.

Viscosidad compleja (*Complex Viscosity*) Es la respuesta del material ante esfuerzos de corte oscilatorio, expresada como la viscosidad en función del tiempo.

Tangente Delta (*tanδ*) Es el cociente entre el módulo de pérdida (comportamiento viscoso) y el módulo de almacenamiento (comportamiento elástico) del material estudiado. Un mayor tangente delta significa que el material tiene un comportamiento más viscoso y por tanto la energía aplicada tiende a disiparse. Por otra parte, un menor tangente delta significa que el material tiene un comportamiento más elástico y es capaz de almacenar la energía.

Con esta información en consideración, es posible concluir que las muestras sin curar presentaron en un inicio un comportamiento viscoso y el aumento progresivo de la temperatura generó cambios en la estructura molecular del material a partir de los

120°C, con un incremento gradual de su módulo de almacenamiento y viscosidad compleja hasta los 155°C. Se podría inferir que, tras este punto, se degradó el aglutinante y/o el contenido de agua de las muestras debido a la alta temperatura.

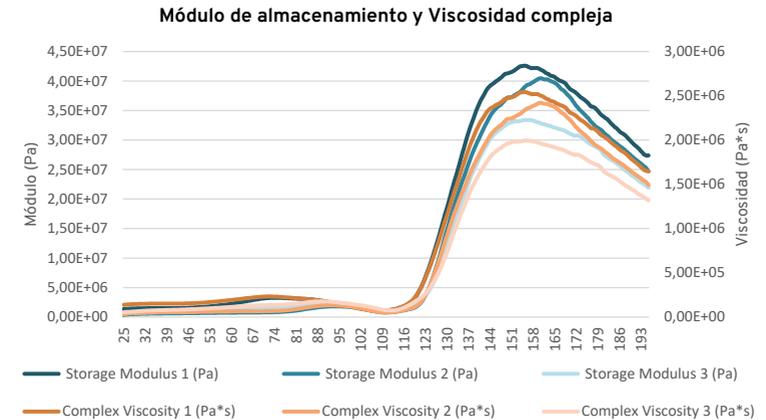


Figura 60

Módulo de almacenamiento y viscosidad compleja del material en el DMA.

Fuente: Elaboración propia.

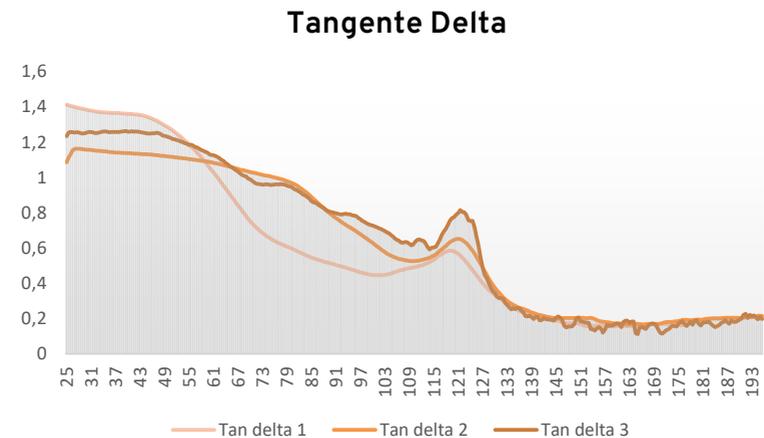


Figura 61

Tangente Delta del material en el DMA. Fuente: Elaboración propia.

Elección del material

En vista de los aspectos analizados durante la etapa de experimentación y diseño del material compuesto y los resultados obtenidos en los ensayos físicos expuestos anteriormente, se optó por profundizar en la caracterización y posterior validación del material correspondiente al proceso B.

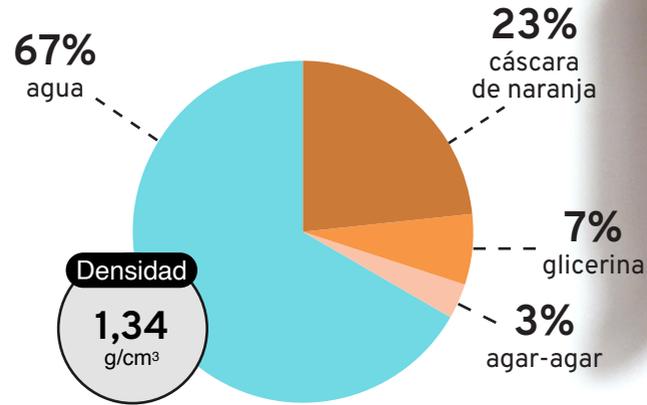


Figura 66
Composición y densidad del material B. Fuente: Elaboración propia.

Esta decisión se fundamenta principalmente en que el proceso de fabricación del material B resultó ser mucho más controlable de inicio a fin: se llegó a un material laminar de buena compactación, decente resistencia a esfuerzos mecánicos, con una distribución homogénea de las partículas de la cáscara de naranja y con un bajo porcentaje de contracción y deformación del material tras el secado.

Asimismo, los ensayos de absorción de agua e hinchamiento demostraron que ambos materiales son sumamente higroscópicos debido a su composición, con lo cual se optó por aquel con porcentajes más bajos y menor desviación estándar entre las muestras analizadas.



Figura 62
Material biobasado correspondiente al proceso B. Fuente: Elaboración propia.

8.3. Evaluación de trabajabilidad del material

8.3.1. Pruebas de mecanizado

Las Tablas 29 y 30 exponen el grado de defecto de las probetas según la norma ASTM D1666-17 tras las pruebas de mecanizado del material con distintas herramientas de corte y perforado.

a) Corte

Tabla 29: Trabajabilidad con herramientas cortantes

Cúter	Grado	Sierra manual	Grado
	1		3
Tijeras	Grado	Dremel - Disco de corte	Grado
	2		4

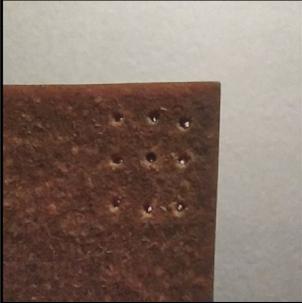
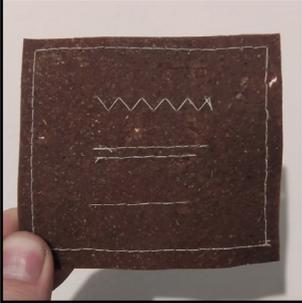
Fuente: Elaboración propia.

Las probetas presentaron una buena trabajabilidad con herramientas manuales, siendo el cúter la herramienta con mejores resultados observables en el corte del material (precisión y

terminación). Para el caso de herramientas de altas revoluciones por minuto (rpm) como el Dremel, las probetas resultaron con un grado de defecto medio-alto debido a que el corte irregular dejó marcas en el material y desgaste por abrasión.

b) Perforado y punzonamiento

Tabla 30: Trabajabilidad con herramientas perforadoras

Punzón	Grado	Cautín	Grado
	3		3
Máquina de coser	Grado	Dremel - Broca 3mm	Grado
	2		1

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de las pruebas de corte, con el Dremel se obtuvo una perforación mucho más prolija que con las otras herramientas ensayadas, pudiendo remover eficazmente el material sobrante en ambas caras. La máquina de coser de puntada recta pudo atravesar el material sin mayores complicaciones, probando su desempeño con distintas tensiones de hilo y tipos de costura.

c) Corte láser

Se incorporaron a un archivo vectorizado distintos elementos como: tamaño de fuente, tamaño de corte recto/curvo y gradiente de rasterizado a fin de evaluar el desempeño del láser en el material, creando una probeta a modo de ficha técnica. El corte por láser presentó un gran nivel de detalle y resultados muy satisfactorios, sin embargo, tanto el grabado y como el rasterizado no alcanzan una potencia que logra quemar el material y algunos detalles se pierden con la textura propia del material.

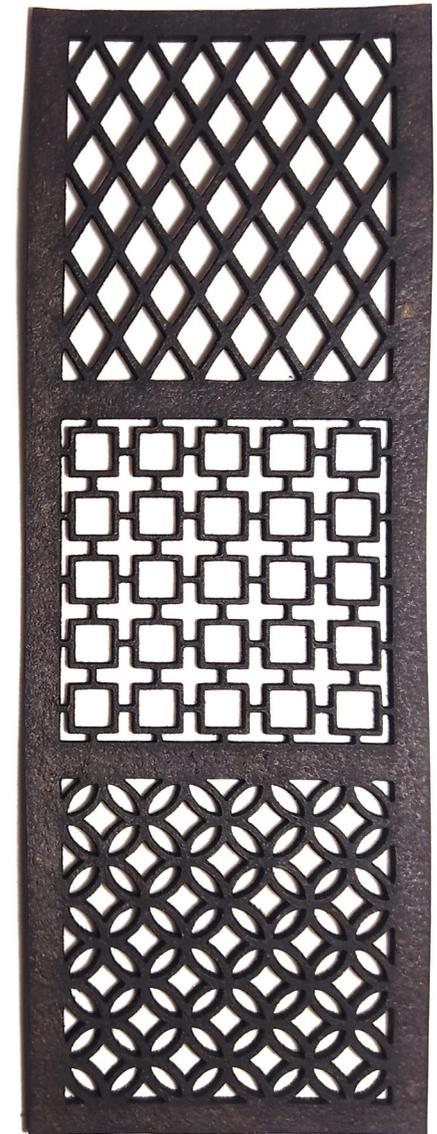


Figura 63
Probetas realizadas en la evaluación de corte, grabado y rasterizado láser.
Fuente: Elaboración propia.

8.3.2. Pruebas de moldeado

a) Conformado en láminas

Los tres espesores evaluados en las láminas (1, 3 y 5 mm) mostraron un similar comportamiento mecánico: tanto el tiempo de secado como la resistencia a la flexión del material aumentaron en la medida que la lámina aumentó su espesor. En vista de los resultados, se determina que el tamaño óptimo para la fabricación de láminas es entre 1-3 mm.

En definitiva, el conformado en láminas es el método que otorga mayores libertades en el trabajo del material, pudiendo elaborar piezas de un tamaño mucho mayor al no requerir de moldes. Una proyección hacia la industrialización de este procedimiento manual sería el calandrado, proceso por el cual se extruiría el material a presión entre dos rodillos contrarrotantes.

b) Conformado en moldes cerrados

Las piezas conformadas en moldes de dos partes presentaron buena compactación y acabado superficial, con imperfecciones menores producto de la contracción del material, llegando a reducir cerca del 15% de su volumen original. Dadas las características del material, se estima que los moldes deben trabajarse

en espesores menores a 1 mm para optimizar el consumo de material y agilizar el proceso de secado. Se proyectan futuros ensayos de conformado mediante moldeado por compresión (Figura 68), proceso que podría responder satisfactoriamente a los aspectos antes mencionados.

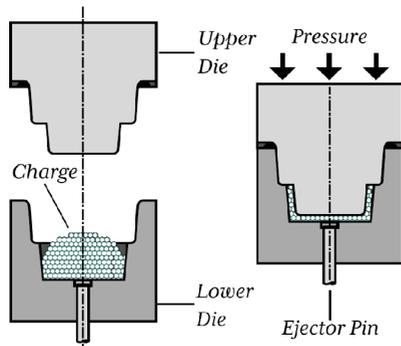


Figura 68
Moldeo por compresión. Fuente: Extraído de (Ashby & Johnson, 2002)

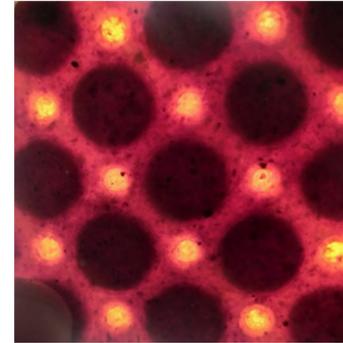


Figura 69
Conformado del material en moldes cerrados. Fuente: Elaboración propia.

c) Conformado en moldes laminares texturizados

El material logró replicar con bastante precisión los patrones geométricos de los tres moldes laminares texturizados. Las piezas elaboradas mantuvieron su proporción a pesar de presentar una disminución del 25% de su tamaño original tras el proceso de secado y prensado del material.

En términos generales las láminas texturizadas presentaron un buen acabado superficial, con imperfecciones menores producto del desmolde. Los distintos espesores y geometrías de las piezas no implicaron cambios en el comportamiento mecánico del material, aunque aquellas secciones con menor espesor tendieron a concentrar los esfuerzos de flexión.



La **Figura 70** expone uno de los aspectos importantes a destacar en este ensayo: el grado de translucidez del material varía según el espesor de la lámina, presentando distintas tonalidades al exponerlo a contraluz. Esto dota de un valor estético que abre la posibilidad de propuestas de aplicación en torno a su interacción con la luz.

Figura 70

Grado de translucidez del material según el espesor. Fuente: Elaboración propia.



Figura 71

Conformado del material en moldes laminares texturizados. Fuente: Elaboración propia.

8.4. Resistencia a agentes externos

8.4.1. Exposición a rayos UV

Las probetas expuestas durante un mes a las condiciones climáticas de la intemperie y en particular a la exposición prolongada a radiación solar, mostraron un leve grado de deformación y endurecimiento. Estos cambios en el material pueden deberse a la retención de humedad atmosférica o bien a la degradación de su plastificante, es decir, el componente que le otorga flexibilidad. La siguiente secuencia de la **Figura 72** muestra los cambios en la coloración del material en el transcurso de un mes.



Figura 72
Cambios en el color del material tras exposición UV. Fuente: Elaboración propia.

8.4.2. Degradación natural

En el transcurso de cinco semanas, el material mostró una rápida degradación en las condiciones que se ejecutó el ensayo.

Tras una semana de exposición en tierra húmeda a la intemperie, las probetas iniciaron el proceso de descomposición por medio de la proliferación de moho blanco en segmentos visibles del material (**Figura 73**). En las semanas posteriores el moho no continuó expandiéndose, sin embargo, el material presentó un considerable aumento en su porosidad y se detectó la presencia de pequeñas larvas (presumiblemente de moscas o polillas debido a la época del año), además, se alteró el color original de las probetas hacia tonalidades ocre en algunos segmentos. Finalmente, a partir de la tercera semana las probetas comenzaron a fragmentarse progresivamente y a mezclarse con el sustrato, dificultando un seguimiento continuo del peso de las muestras.

Fue posible predecir el comportamiento de las probetas en condiciones de compostaje debido a la alta higroscopicidad del material, cuestión que fue determinada tras los ensayos de absorción de agua e hinchamiento. Dada la progresión en la descomposición de las probetas en este primer bloque, se proyecta que la degradación del material en un plazo de seis meses será total.



Figura 73
Observaciones durante el ensayo de degradación. Fuente: Elaboración propia.

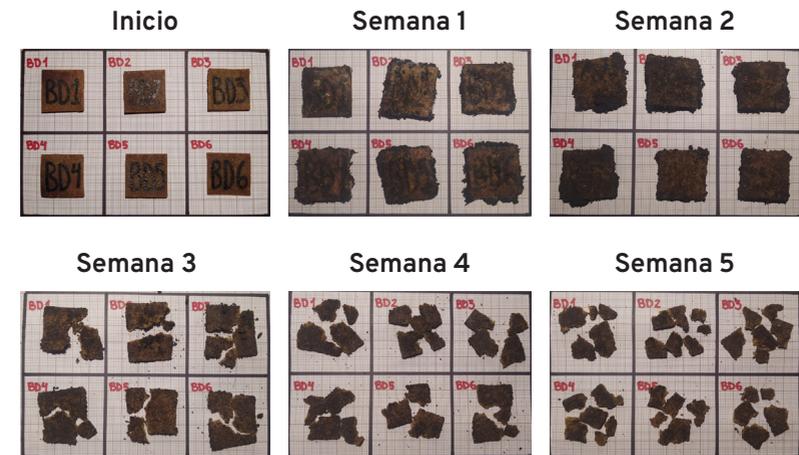


Figura 74
Proceso de degradación de las probetas. Fuente: Elaboración propia.

8.5. Evaluación perceptual del material

8.5.1. Diferencial semántico

El promedio de resultados de la encuesta de diferencial semántico se encuentra expuesto en la **Figura 76**. A nivel sensorial existe una clara tendencia hacia los adjetivos: mate, flexible, ligero, oloroso y resistente. A nivel interpretativo se asoció el material a algo acogedor, natural, sostenible, tranquilo, innovador y transformable. Finalmente, a nivel afectivo la tendencia apuntó al agrado, curiosidad, atracción y aprobación.

En términos generales, los tres grupos de estudio mostraron una respuesta similar con el material, los atributos afectivos e interpretativos presentaron una mayor polarización hacia uno de los adjetivos propuestos, mientras que los atributos sensoriales tendieron a lo neutro debido a la disparidad de resultados obtenidos, siendo el grupo de atributos con mayor desviación estándar.

Las diferencias más acentuadas entre los grupos se dieron con los conceptos de cálido/frío, elegante/vulgar y limpio/sucio. Por otra parte, la serie de encuestas digitales (serie 1) y presenciales (serie 2) solo presentaron diferencias significativas en los atributos sensoriales, principalmente con aquellos asociados al olor, temperatura y textura del material, ya que no eran parámetros comprobables a través de una fotografía o video.

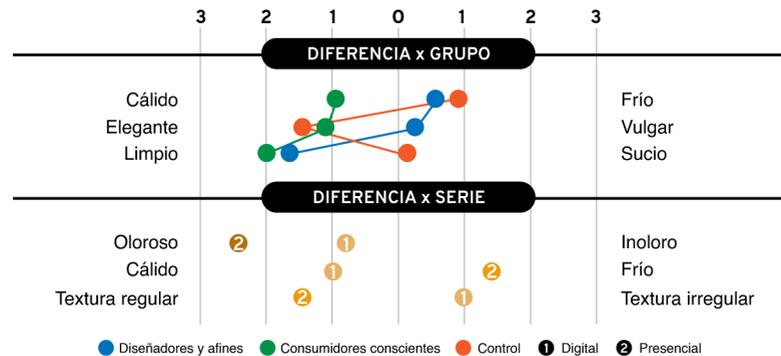


Figura 75
Diferencias entre los grupos y series analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Resultados del Diferencial Semántico total

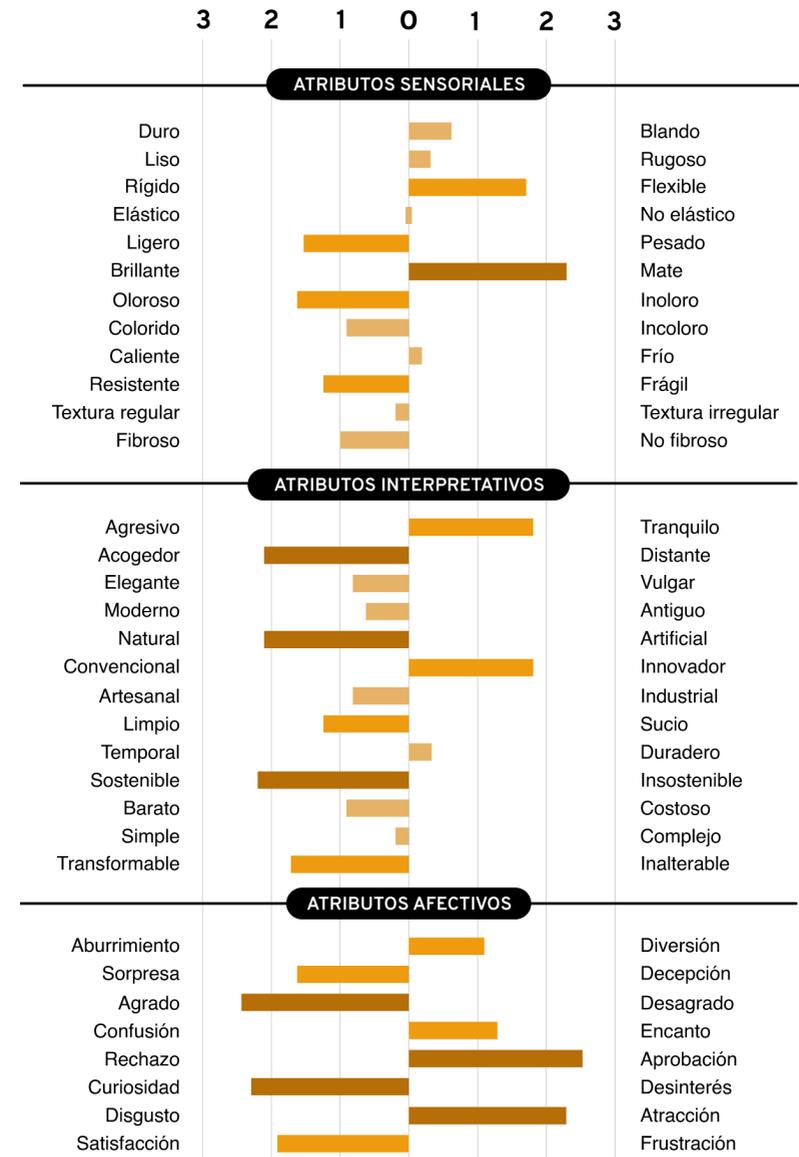


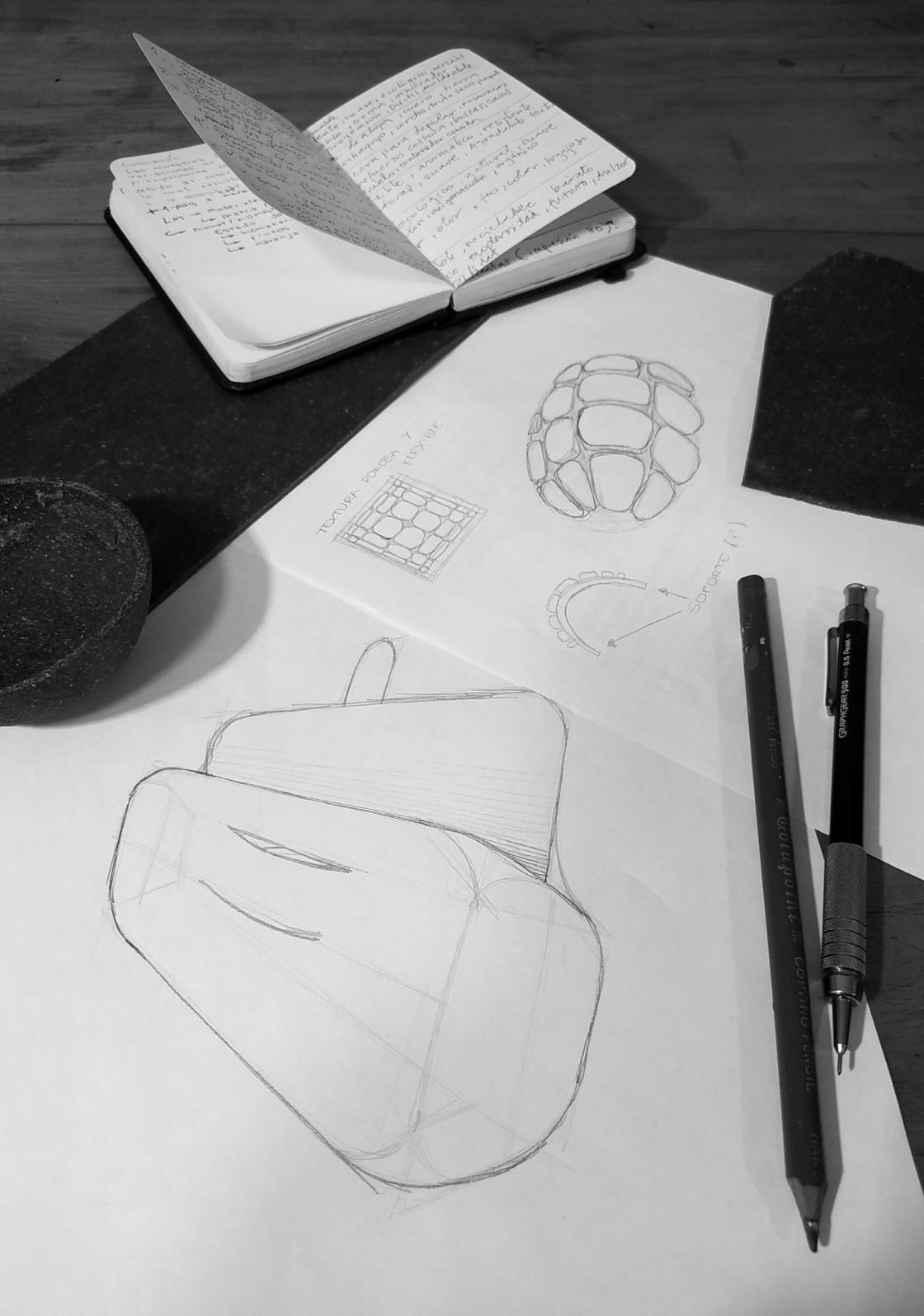
Figura 76
Resultados del Diferencial Semántico total. Fuente: Elaboración propia.

Ficha técnica del material

Tabla 31: Ficha resumen de la caracterización del material

Descripción	Material compuesto que revaloriza el residuo cítrico. De tacto rugoso, flexible, poroso, de aroma dulce y translúcido en espesores entre 1 y 3 mm.		
Composición	23% Cáscara de naranja (<i>Pectina, celulosa y hemicelulosa</i>) 7% Glicerina vegetal / 3% Agar-agar 67% Agua destilada		
	Características	Método de ensayo	Valor
FÍSICAS	Densidad	UNE-EN 323	1,34 g/cm ³
	Hinchamiento	UNE-EN 317	36,1 %
	Absorción de agua	UNE-EN 317	89,7 %
TRABAJABILIDAD	Corte	ASTM D1666-17	Grado 1
	Perforado y punzonamiento	ASTM D1666-17	Grado 1
	Corte láser	Examen visual	Sobresaliente
	Conformado en lámina	Examen visual	Sobresaliente
	Conformado en moldes	Examen visual	Bueno
OTROS	Exposición UV	Examen visual	Rigidez y oscurecimiento
	Degradación natural	Examen visual	Alto (6 semanas)
	Costo de producción	Gasto energético y costo de materia prima	\$13.410/m ² (CLP) \$3.336/kg (CLP)
Atributos perceptuales destacados			
Sostenible	<input type="checkbox"/>	Natural	<input type="checkbox"/>
Acogedor	<input type="checkbox"/>	Oloroso	<input type="checkbox"/>
Flexible	<input type="checkbox"/>	Ligero	<input type="checkbox"/>
Innovador	<input type="checkbox"/>	Atractivo	<input type="checkbox"/>





9 Validación del material

La etapa de **validación del material** consistió en esquematización de los hallazgos de la investigación para la generar, evaluar y seleccionar distintas propuestas de aplicación del material, culminando en el desarrollo conceptual y prototipado de dos propuestas vinculadas a los escenarios proyectados con el material.

Mapa de síntesis

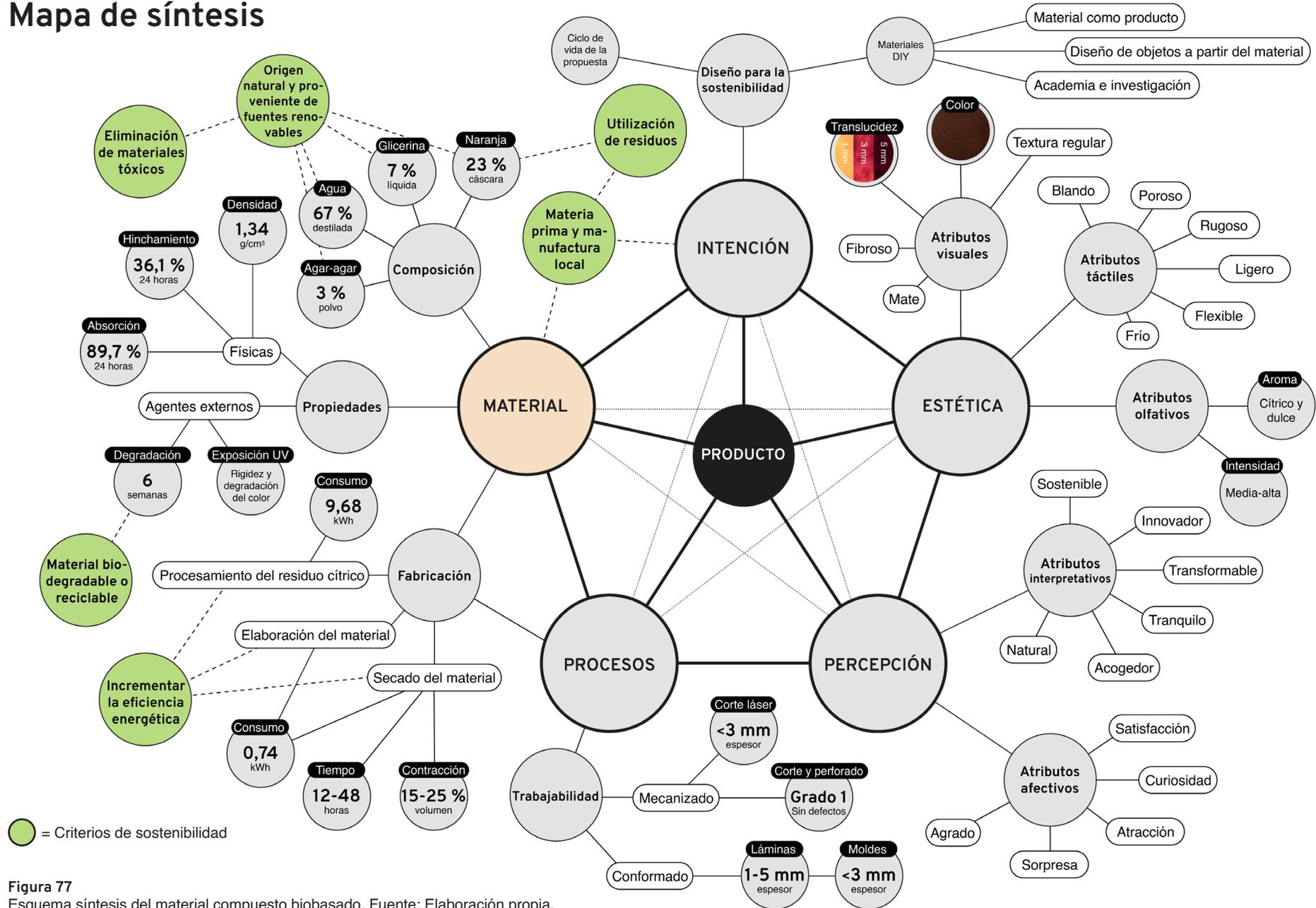


Figura 77 Esquema síntesis del material compuesto biobasado. Fuente: Elaboración propia.

9.1. Planteamiento de propuestas de aplicación del material

9.1.1. Generación de propuestas

La **Figura 79** expone las 32 propuestas de aplicación generadas en la lluvia de ideas, agrupadas en 7 categorías: envasaje y contenedores, talabartería/marroquinería, construcción, indumentaria, iluminación, menaje de cocina y otros.



Figura 79
Propuestas de aplicación por categorías. Fuente: Elaboración propia.

9.2. Diseño y prototipado de propuestas de aplicación del material

Ante la imposibilidad de encontrar establecimientos donde fabricar los moldes en router CNC estando la Región Metropolitana en cuarentena, las imágenes presentadas a continuación corresponden a fotomontajes elaborados a partir de renders de la propuesta de pantalla para luminaria de interior.

Asimismo, el material como producto comercializable culminó en la experimentación de distintas texturas estampadas sobre el material, planteando alternativas de presentación.



Figura 80
Estampado texturizado sobre el material. Fuente: Elaboración propia.

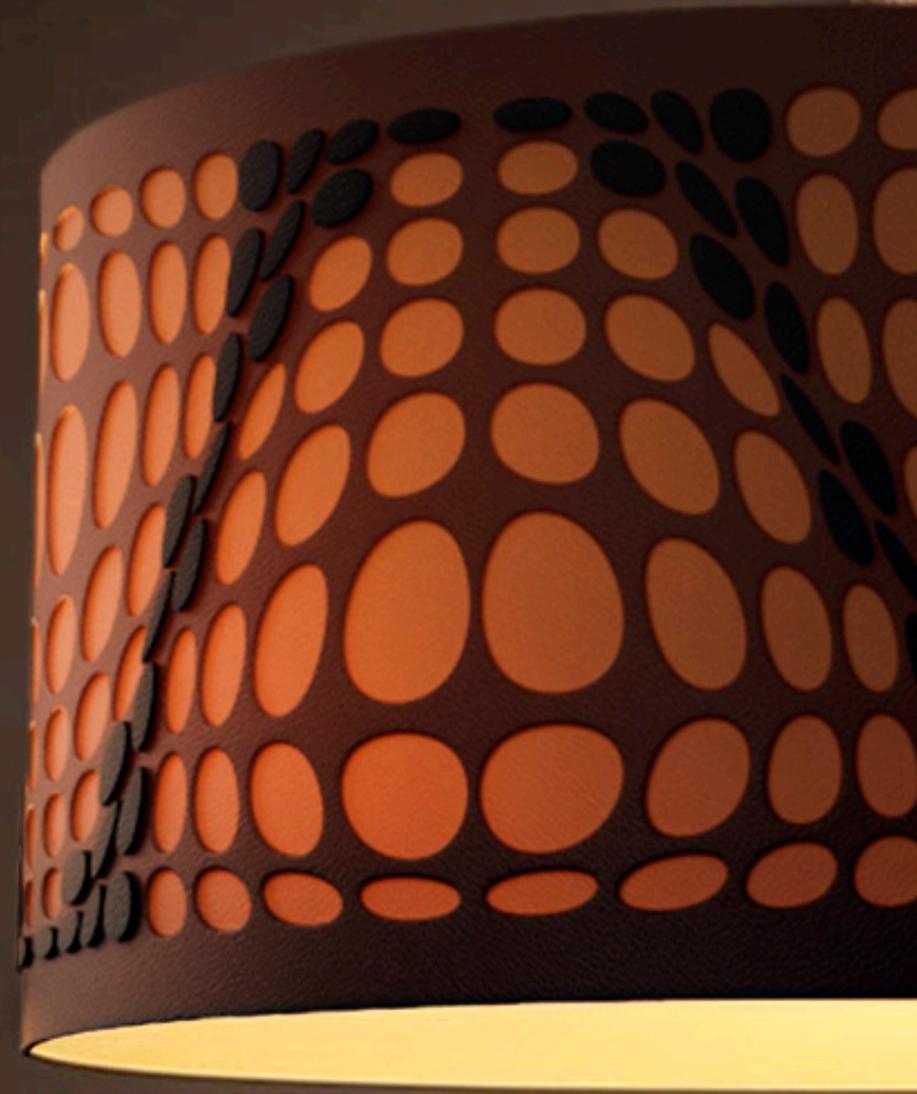
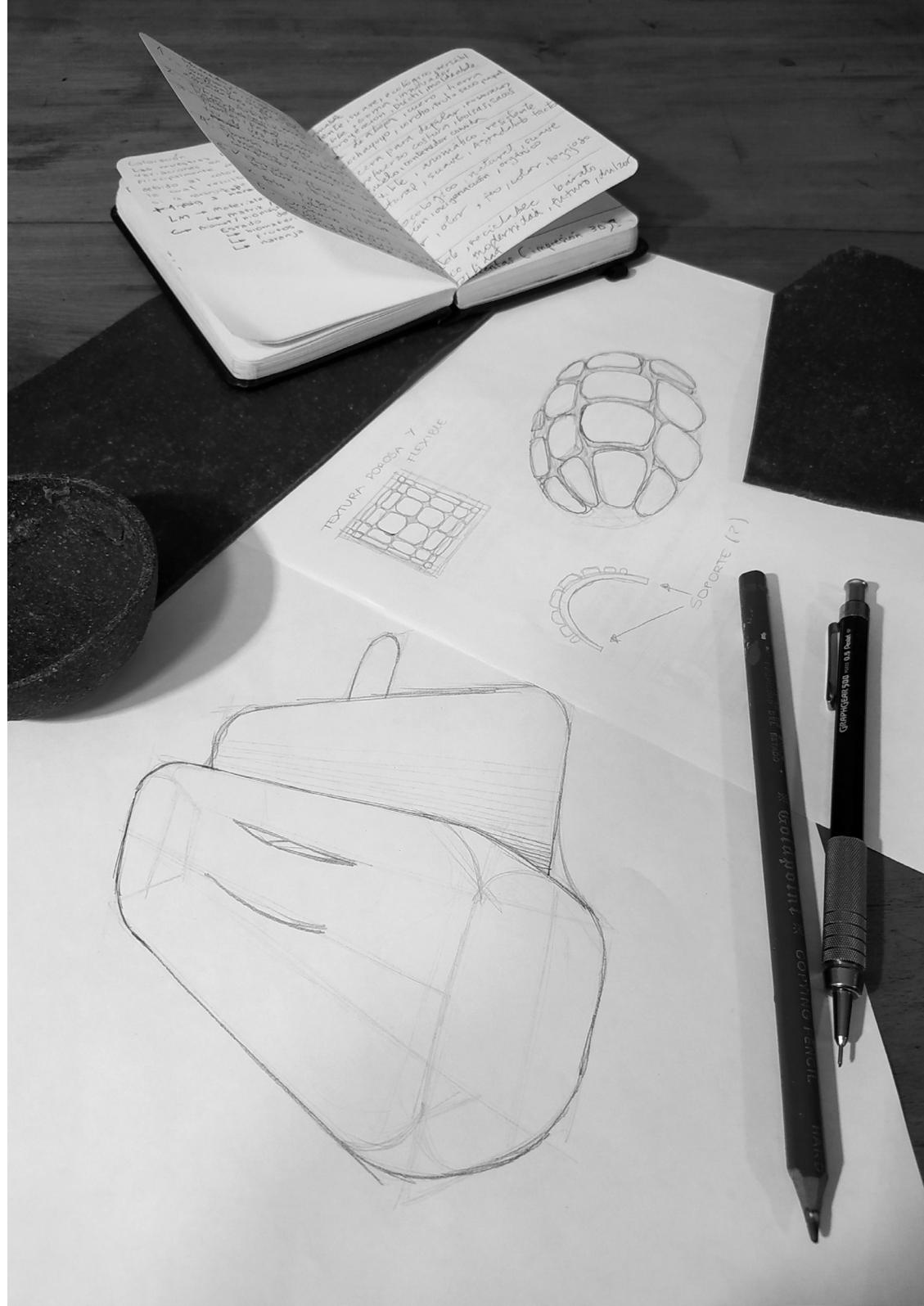
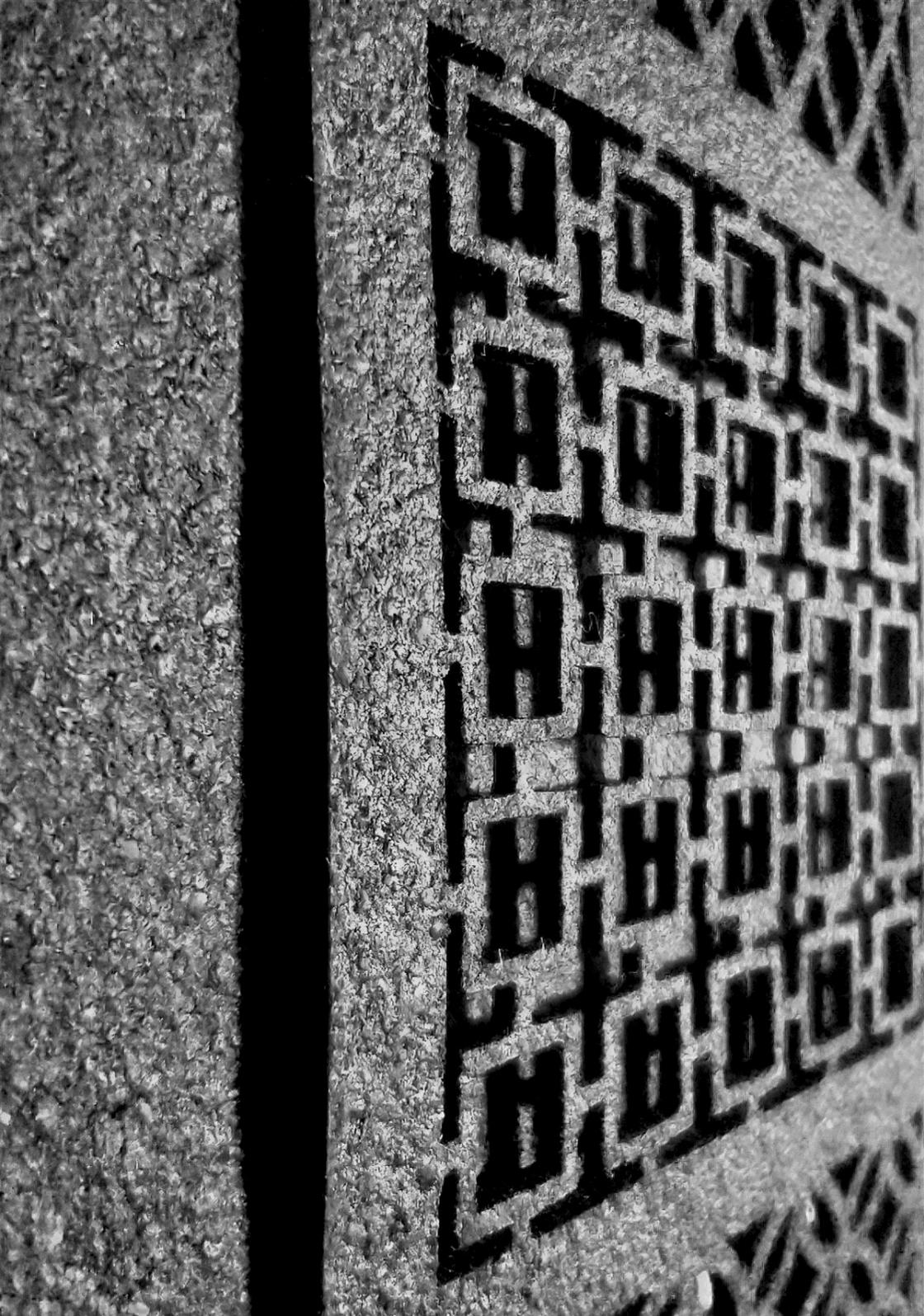


Figura 81
Fotomontaje detalle de relieve. Fuente: Elaboración propia.



Figura 82
Fotomontaje en contexto. Fuente: Elaboración propia.





CONCLUSIÓN Y PROYECCIONES

El objetivo general planteado en esta investigación consistió en explorar el potencial de las cáscaras de cítricos como materia prima para la elaboración de un material compuesto biobasado. Es posible concluir que este objetivo se cumplió parcialmente, ya que si bien se consiguió desarrollar un material a partir de la cáscara de naranja, no se exploró en profundidad otras especies de cítricos como el limón, la mandarina y el pomelo. El levantamiento de información relativa a la industria frutícola nacional dejó entrever que la naranja es por lejos el cítrico más producido y consumido, por lo tanto, su residuo fue mucho más fácil de conseguir y procesar para las experimentaciones posteriores.

Los objetivos específicos planteados para la investigación aplicada se concretaron evaluando en cada etapa metodológica la consecución de los criterios para el desarrollo de un material sostenible presentados en un comienzo. El primer objetivo específico, *“Diseñar el compuesto biobasado de residuos cítricos desde un enfoque iterativo de exploración material”*, se cumplió a través de los métodos experimentales ejecutados para determinar la composición y proporción de la mezcla, el enfoque iterativo de exploración material culminó en un hallazgo de gran relevancia para la investigación, la definición del proceso experimental del material B, proceso que toma distancia de bibliografía y recetas recopiladas en torno a materiales DIY basados en polímeros hidrocoloides.

El segundo objetivo, *“Caracterizar el material compuesto basado en cáscaras de cítricos a través de ensayos para generar una ficha técnica que agrupe las propiedades del material”*, se cumplió en gran medida, logrando conocer las propiedades del material y compararlo directamente con otros de su tipo, sin embargo, aún quedan pendientes muchas propiedades por caracterizar a fin de ampliar la ficha técnica del material.

El último objetivo específico, *“Validar el material mediante el diseño de propuestas de aplicación que aprovechen sus propiedades”*, culminó en el planteamiento de dos propuestas de aplicación que involucraron distintos escenarios proyectivos del material.

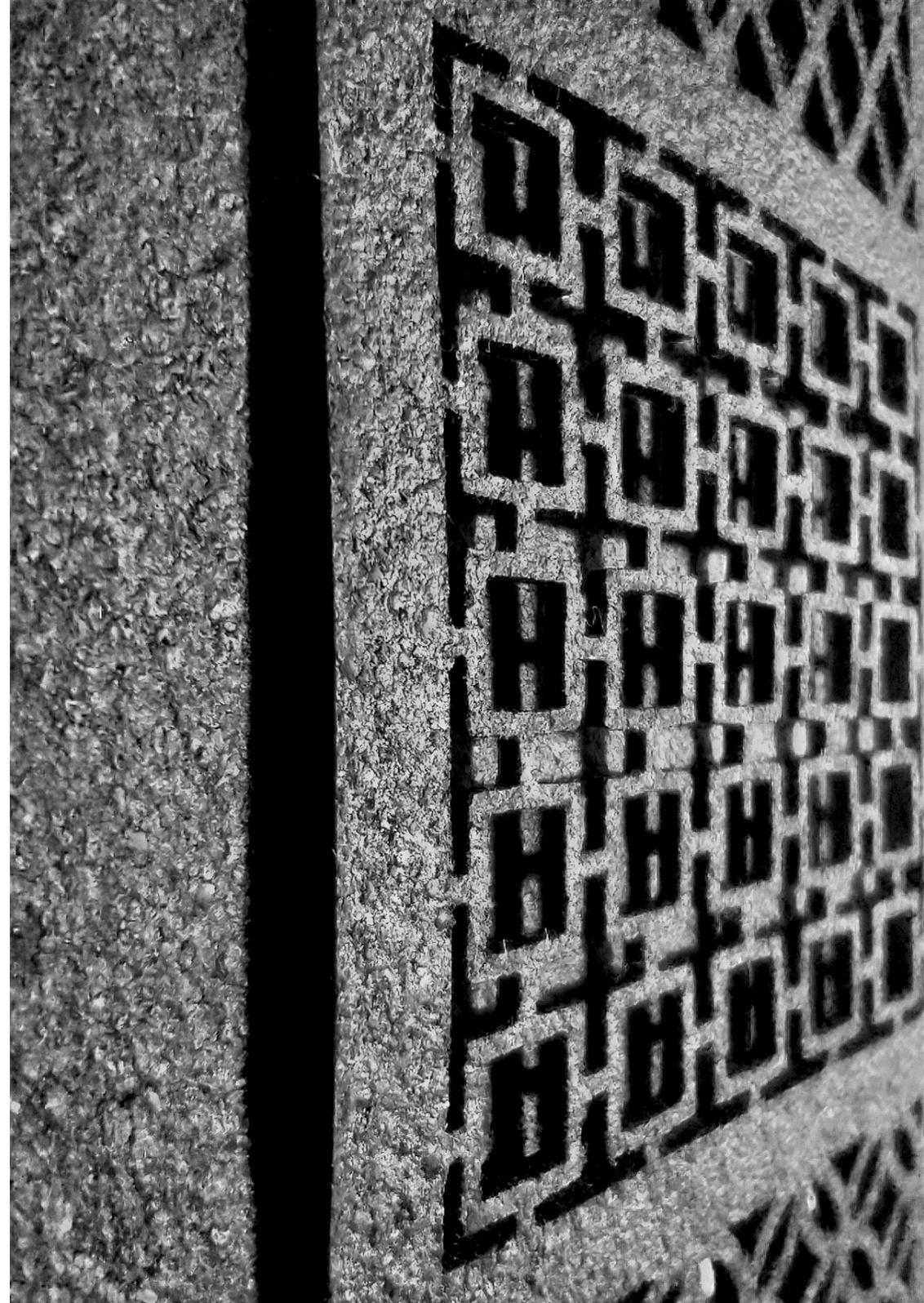
El material resultante presenta una densidad similar a la de polímeros como el PLA, PET y TPS, además, muestra una gran resistencia a la flexión, rápida degradación en sustrato, marcado aroma dulce y de translucidez variable según su espesor y alta higroscopicidad, siendo poco resistente a la exposición prolongada al agua. Respecto a su trabajabilidad, el material puede ser conformado en moldes o prensado para conseguir láminas, también puede ser mecanizado manualmente o mediante corte láser.

El camino al desarrollo del material biobasado de cáscara de naranja es largo y aún existen muchas aristas por explorar. Trabajos futuros con el material estarían enfocados en profundizar aquellas propiedades técnicas y perceptuales no abordadas durante esta investigación, caracterizando el compuesto a través de ensayos mecánicos, térmicos, químicos, de resistencia UV y de biodegradabilidad con el rigor de la normativa vigente y en centros especializados, complementando así la ficha técnica ya existente.

Por otra parte, a nivel perceptual resultaría interesante encaminar el material a través de las cuatro etapas planteadas por la metodología MDD (Karana *et al.*, 2015), aproximándose a conceptos de materiales/productos que manifiesten nuevas visiones y patrones experienciales.

En cuanto a procesos de manufactura queda pendiente explorar el potencial del material en una amplia gama de herramientas de fabricación digital, tal como la extrusión mediante impresión 3D, CNC y termoformado. Asimismo, explorar procesos industriales que permitan proyectar el material hacia nuevas escalas de producción, tal como el calandrado, troquelado, embozado, moldeo por compresión y moldeo por inyección.

Todas estas proyecciones mencionadas significarían un aporte sustancial a la hora de identificar nuevas aplicaciones para el material. Los alcances de este proyecto suman un pequeño grano de arena en plantear alternativas a los materiales convencionales y proyectar un futuro hacia nuevas materialidades sostenibles.



LISTA DE REFERENCIAS

- AENOR (1994). 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 (1994). UNE-EN 323:1994 - Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid, España.: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- ALLENBY, B. (1992). Industrial Ecology: The Materials Scientist in an Environmentally Constrained World. *MRS Bulletin*, 17(3), p. 46-51.
- AROS, M., NARVÁEZ, G. & AROS, N. (2009). El diferencial semántico para la disciplina del diseño una herramienta para la evaluación de productos. Badajoz: XIII Congreso Internacional De Ingeniería de Proyectos.
- AROS, M., NARVÁEZ, G. & AROS, N. (2009). El diferencial semántico para la disciplina del diseño una herramienta para la evaluación de productos. Badajoz: XIII Congreso Internacional De Ingeniería de Proyectos.
- ASHBY, M. & JOHNSON, K. (2002). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Butterworth-Heinemann. Oxford, USA.
- ASHBY, M. (2015). *Materials and Sustainable Development*. Butterworth-Heinemann. Oxford, USA.
- ASOEX [ALCAINO, M. J] (2014). Mercado Internacional de Cítricos y Perspectivas. Ponencia presentada a Decofrut, Santiago, Chile. Recuperado de <https://www.asoex.cl/seminario-citricos-2014/finish/19-seminario-citricos-mayo/89-evolucion-del-mercado-internacional-de-los-citricos-y-perspectivas-para-la-temporada-2014.html>
- ASTM (2004). D6400-04, Standard Specification for Compostable Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, www.astm.org
- ASTM (2014). D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- ASTM (2017). D1666-17, Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de mecanizado de madera y materiales de paneles de madera. West Conshohocken, PA.
- AYALA-GARCÍA, C. (2019). *The Materials Generation* (Doctoral dissertation). Politécnico de Milán, Milan, Italia.
- BAILLIE, C. & VANASUPA, L. (2003). *Navigating the materials world : a guide to understanding materials behavior*. Amsterdam Boston: Academic.
- BAUMAN, Z. (2007). *Consuming Life*. Polity Press, p. 27. Cambridge, United Kingdom.
- BRUNDTLAND, G. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations General Assembly document A/42/427.
- BÁTORI, V. (2019). Fruit wastes to biomaterials: Development of biofilms and 3D objects in a circular economy system. Borås: Högskolan i Borås, 2018.
- BÁTORI, V., JABBARI, M., ÅKESSON, D., LENNARTSSON, P. R., TAHERZADEH, M. J., & ZAMANI, A. (2017). Production of pectin-cellulose biofilms: A new approach for citrus waste recycling, *Int. J. Polym. Sci.* 2017, 1-9.
- CAMERE, S. & KARANA, E. (2018). Experiential characterization of materials: Toward a toolkit. 10.21606/dma.2017.508.
- CIREN (2020). Catastro Frutícola. Principales resultados, Región Metropolitana / 2020. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70429/catastroFruticolaStgo2020.pdf>
- COMITÉ DE CÍTRICOS (s. f.). Comité de Cítricos. Recuperado: ht

[tps://www.comitedecitricos.cl/quienes-somos/comite-de-citricos](https://www.comitedecitricos.cl/quienes-somos/comite-de-citricos) (Fecha de acceso: 15/11/2020).

- CONICYT (2007). El sector frutícola en Chile. Capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico. Gobierno de Chile. Recuperado de https://www.conicyt.cl/documentos/dri/ue/Frusic_Fruit_BD.pdf
- CORES, I. (2018). Materiales biobasados para productos del hábitat (Tesis de grado). EASD Valencia, España.
- CRUL, M. & DIEHL, J. C. (2006). Design for sustainability: A Practical Approach for Developing Economies. UNEP, Division of Technology, Industry and Economics. París, Francia.
- DUCHIN, F. & HERTWICH, E. (2003). Industrial ecology. Online Encyclopaedia of Ecological Economics”,(32), 2, 2000.
- ELKINGTON, J. (1998). Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business, New Society Publishers, Stony Creek.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2013). Towards the circular economy (Vol. 1). Economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes, Isle of Wight.
- ERKMAN, S. (1997). Industrial ecology: an historical view. Journal of Cleaner Production, 5(1), p. 1-10.
- FAO (2016). State of the World's Forests 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FROSCHE, R. & GALLOPOULOS, N. (1989). Strategies for Manufacturing. Scientific American, N° 261, p. 144-152.
- GIACCARDI, E., & KARANA, E. (2015). Foundations of materials experience: An approach for HCI. In: KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW VAN DER LAAN, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. International journal of design, 9(2), 35-54.
- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2019). The National Footprint Accounts, 2019 edition. Global Footprint Network. Oakland,

USA.

- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2021). The National Footprint Accounts, 2021 edition. Global Footprint Network. Oakland, USA.
- JANICK, J. (2005). “Citrus”. Purdue University Tropical Horticulture Lecture 32. Archived from the original on 2005-06-24. Retrieved 28 February 2020.
- JELINSKI, L. W., GRAEDEL, T. E., LAUDISE, R. A., MCCALL, D. W., & PATEL, C. K. (1992). Industrial ecology: concepts and approaches. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 89(3), p. 793–797.
- KARANA, E., (2009). Meanings of materials (Doctoral dissertation). Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
- KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW VAN DER LAAN, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. International journal of design, 9(2), 35-54.
- KARANA, E., PEDGLEY, O. & ROGNOLI, V. (2014). Materials experience: Fundamentals of materials and design. Butterworth-Heinemann. Oxford, USA.
- KÄÄRIÄINEN, P., TERVINEN, L., VUORINEN, T. & RIUTTA, N. (2020). The Chemarts Cookbook. Espoo, Finland: Aalto University.
- LAGLA, M. (2018). Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de hidrocoloides irreversibles estudio invitro. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- LUDDEN, G., SCHIFFERSTEIN, H., & HEKKERT, P. (2008). Surprise as a design strategy. In: KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW VAN DER LAAN, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. International journal of design, 9(2), 35-54.
- LYLE, J. T. (1994). Regenerative Design for Sustainable Development. John Wiley & Sons Inc. Canadá.

- MCDONOUGH, W. & BRAUNGART, M. (2002). *Cradle to cradle: remaking the way we make things* (1st ed. Vol. 1). North Point Press. New York.
- MEXPOLÍMEROS (s.f.). Análisis mecánico dinámico (DMA). Recuperado: <https://www.mexpolimeros.com/eng/dma.html> (Fecha de acceso: 22/12/2020).
- MEXPOLÍMEROS (s.f.). Plásticos resistentes a radiación UV. Recuperado: <https://www.mexpolimeros.com/radiaci%C3%B3n%20uv.html> (Fecha de acceso: 16/12/2020).
- MMA (2016). Ley N°20.920 Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Ministerio del Medio Ambiente: Chile.
- MMA (2017). Propuesta Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) 2020-2040. Gobierno de Chile. Recuperado de https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905_PNCPS.pdf
- MMA (2020). Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables. Gobierno de Chile. Recuperado de https://chile-circularsinbasura.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/10/propuesta_Estrategia-Nacional-Residuos-Organicos-2020-2040.pdf
- MUNRO, D. A., PRESCOTT-ALLEN, R., HOLDGATE, M. W., UNEP-WCMC, & WWF (1991). *Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida*. Gland, Suiza: UICN.
- ONU (2015). Aprobación del Acuerdo de París. Convención Marco sobre el Cambio Climático. Organización de las Naciones Unidas. París, Francia.
- ONU (2015). Desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> (Fecha de acceso: 14 de junio 2019).
- OSGOOD, C. E., SUCI, G. J., & TANNENBAUM, P. H. (1957). *La medida del significado*. Gredos.
- PATHAK, P., MADAVGANE, S. & KULKARNI, B. (2017). *Fruit peel waste: characterization and its potential uses*. Department of Chemical Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nangpur, India.
- PETERS, S. (2014). *Material Revolution II: New Sustainable and Multi-Purpose Materials for Design and Architecture*. Birkhauser, Basel, Suiza.
- PISTOFIDOU, A. (2017). *The Secret of Bioplastic*. FABTEXTILES IAAC. Barcelona, España. Recuperado de https://issuu.com/nat_arc/docs/the_secrets_of_bioplastic_
- PISTOFIDOU, A. (2018). *Bioplastic Cook Book*. FABTEXTILES IAAC. Barcelona, España. Recuperado de https://issuu.com/nat_arc/docs/bioplastic_cook_book_3/s/159731
- REINDERS, A., DIEHL, J. C. & BREZET, H. (2012) *The Power of Design, Product Innovation in Sustainable Technologies*. Wiley ed. Chichester, Reino Unido.
- RESNICK, M., & ROSENBAUM, E. (2013). *Designing for tinkability. Design, make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*, 163-181.
- RIBUL, M. (2013). *Recipes for Material Activism. Embodied energy series*. Londres, Reino Unido.
- ROGNOLI, V. (2010). A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education. *Metu Journal of the Faculty of Architecture*, 27, 287-300.
- ROGNOLI, V., BIANCHINI, M., MAFFEI, S., KARANA, E., (2015). *DIY Materials. Materials and Design*, 86 (2015), 692-702.
- SACHS, W. & SANTARIUS, T. (2007). *Fair Future. Resource Conflicts, Security and Global Justice*. Zed Books.
- SACHS, W. (2002). *The Jo'burg-Memo: Fairness in a Fragile World - Memorandum for the World Summit on Sustainable Development*. Heinrich Böll Foundation, Berlin, Alemania.
- SHAN, Y. (2016). *Comprehensive utilization of citrus by-products*. Academic Press is an imprint of Elsevier. London, UK.

SQUEEZE THE ORANGE [@squeeztheorange]. (s.f). Publicaciones [Perfil de Instagram]. Instagram. Recuperado el 14 de diciembre de 2020, de <https://www.instagram.com/squeeztheorange/>

STAHEL W. (2010). *The Performance Economy. The Performance Economy: 2nd Edition.* Palgrave Macmillan. Reino Unido

TALON, M., CARUSO, M. & GMITTER, F. (2020). *The Genus citrus.* Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier.

TANENBAUM, J.G., WILLIAMS, A.M., DESJARDINS, A., TANENBAUM, K. (2013). Democratizing technology: pleasure, utility and expressiveness in DIY and maker practice. In: *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factor in Computing System, CHI 2013*, pp.2603-2612, April 27–May 2, Paris, France.

VEZZOLI, C. & MANZINI, E. (2008). *Design for Environmental Sustainability.* Springer. Milán, Italia.

VEZZOLI, C. (2010). *System Design for Sustainability. Theory, Methods and Tools for a Sustainable “Satisfaction-System” Design.* Patronised United Nation Decade Education for Sustainable Development. Maggioli editore, Rimini.

VEZZOLI, C., CESCHIN, F., OSANJO, L., M'RITHAA, M., MOALOSI, R., NAKAZIBWE, V. & DIEHL, J. C. (2018). *Designing sustainable energy for all : sustainable product-service system design applied to distributed renewable energy.* Springer. Cham, Suiza.

WU, G., TEROL, J., IBANEZ, V., LÓPEZ-GARCÍA, A., PÉREZ-ROMÁN, E., BORREDÁ, C., DOMINGO, C., TADEO, F., CARBONELL-CABALLERO, J., ALONSO, R., CURK, F., DU, D., OLLITRAUT, P., ROOSE, M., DOPAZO, J., GMITTER, F., ROKHSAR, D., TALON, M. (2018). “Genomics of the origin and evolution of Citrus”. *Nature.* 554 (7692): 311–316.

WWF (2016). *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era.* WWF International. Gland, Suiza.

YULI MEROZ [@yulimeroz]. (s.f.). Publicaciones [Perfil de Instagram]. Instagram. Recuperado el 14 de diciembre de 2020, de <https://www.instagram.com/yulimeroz/>

ZARTA, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), p. 409-423.

Anexo 1: Reportes de sostenibilidad

COCA-COLA EMBONOR S.A. (2019)

Coca-Cola Embonor S.A. (Embonor) es una sociedad anónima abierta que se dedica principalmente a la producción y distribución de bebidas analcohólicas bajo licencia de The Coca-Cola Company (TCCC), en Chile y en Bolivia. En Chile opera a través de Coca-Cola Embonor S.A. y Embotelladora Iquique S.A., y en Bolivia, a través de Embotelladoras Bolivianas Unidas S.A. (Embol S.A.). En Chile, se encuentra presente en las Regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá, de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de Ñuble, de la Araucanía, de los Ríos y de los Lagos, y vende cerca del 37% del volumen total de Coca-Cola a nivel nacional.

Este Reporte fue elaborado conforme a los criterios y recomendaciones de los Estándares de Global Reporting Initiative (GRI), en sus versiones más actualizadas, de conformidad con la opción "esencial," y busca dar a conocer el desempeño y gestión en las dimensiones de la sostenibilidad de la Compañía para la operación de Chile, para el período comprendido entre el 1 enero y el 31 de diciembre de 2019.

De acuerdo con este reporte y en relación a las cifras de producción de esta empresa y en lo estrictamente relacionado a sostenibilidad, materias primas y manejo de residuos, se puede destacar:

Embonor procesa toda la serie de productos Andina del Valle, Guallarauco y Ades, en cuyo proceso de elaboración intervienen frutas, entre ellas los cítricos. Sin embargo, en este informe no se detallan las cantidades utilizadas debido a que parte de las materias primas utilizadas se obtienen previamente procesadas como concentrados de fruta. De este modo, el residuo orgánico producido específicamente en las empresas se elimina como un todo uniforme.

Cabe destacar que, en el área de materiales, packaging y envases, se considera únicamente el uso de materiales reciclables y/o retornables y, si bien se toman ciertas acciones en torno a su descarte, tales como el Programa de Educación Ambiental en la V Región, el Programa de Reciclaje en la zona de Lago Llanquihue y talleres infantiles de reciclaje, no considera el uso de materiales degradables en este ítem.

Fuente:

https://www.embonor.cl/docs/Reporte_Sostenibilidad_Chile_2019-13-04_indice.pdf

SAN MIGUEL GLOBAL S.A. (2019)

San Miguel es una compañía agroindustrial global de origen argentino, con más de 60 años de trayectoria es líder del hemisferio sur en la producción, distribución y comercialización de fruta fresca y productos derivados de los cítricos.

Este es el 8º Reporte de Sustentabilidad en el cual se profundiza en los avances de su gestión. Realizado de acuerdo con la Guía de Estándares de Global Reporting Initiative (GRI) y con la iniciativa de responsabilidad social de Naciones Unidas: el Pacto Global.

Con un total de 8.146 Hectáreas plantadas, más de 2.000 proveedores y productores de fruta 7 Plantas de empaque, 3 Plantas de procesamiento y más de 85 Fincas gestionadas en Perú, Argentina, Uruguay y Sudáfrica. Logrando un liderazgo en el mercado del limón que se traduce en su posición en el mercado con el 9% del market share de limón fresco en contraestación y 13% en el procesamiento mundial de limón.

En lo concerniente al manejo de residuos: Los restos de poda generados en la actividad agrícola se tratan mediante técnicas de triturado para luego disponerlos en las fincas, actuando como mejoradores de suelo. Los restos orgánicos generados en el proceso industrial son segregados, acondicionados y, mediante técnicas de laboreo, incorporados al suelo como abono orgánico. Un porcentaje menor de estos restos orgánicos es destinado como alimento animal.

En lo concerniente a la temática de este estudio, se da cuenta del especial énfasis en relación al impacto ambiental por parte de la empresa, en el uso óptimo del agua y la energía eléctrica. Considerando que el eje fundamental de esta industria es la producción y comercialización de cítricos frescos, es de vital relevancia el tratamiento de agua y el suelo, así como el uso eficiente de la energía.

Fuente:

https://www.sanmiguelglobal.com/sites/default/files/Reporte_de_sustentabilidad_2019_online.pdf

EMBOTELLADORA ANDINA S.A. (2018)

Embotelladora Andina S.A. es uno de los tres mayores embotelladores de Coca-Cola en América Latina, atendiendo territorios franquiciados con casi 52,6 millones de habitantes, en los que entregó 4.263 millones de litros de bebidas gaseosas, jugos y aguas embotelladas en 2018.

De acuerdo al reporte de sostenibilidad y en las materias que competen a esta investigación, se puede destacar que se pone especial énfasis en el uso y recuperación de aguas, así como de eficiencia energética, en relación al manejo de material orgánico o su reutilización como subproducto, no aparecen informes ni estudios relacionados con ese tema.

Según el informe de la empresa, El 84,5%% de los residuos son reciclados (valor Andina global). Se refiere a reciclables cuando se procesan para volver a utilizar y también entran en este criterio residuos orgánicos que se destinan a compostaje como residuos peligrosos que se destinan como recuperación energética en hornos de industrias cementeras. El 2,2% son residuos peligrosos que tienen un tratamiento acorde a la legislación de cada país (por ejemplo, celdas de seguridad). El 14,3 % son residuos generales que van a enterramientos sanitarios.

MEDIO AMBIENTE (No auditado) La Sociedad ha efectuado desembolsos por concepto de mejoramientos de procesos industriales, equipos de medición de flujos de residuos industriales, análisis de laboratorios, consultorías sobre impactos en el medio ambiente y otros estudios por un monto de M\$ 1.386.987 de los cuales M \$416.116 corresponden al gasto efectuado en Chile.

Sin embargo en este reporte no se desglosa en ítems dicho gasto, lo que permite deducir / suponer, que si bien es un ítem interesante a la hora de otorgar valor al producto y cumplir con estándares de sostenibilidad, es en la realidad un ítem marginal en cuanto a iniciativas, inversiones y gastos.

Fuente:

https://sumandovalor.cl/wp-content/uploads/2020/01/ANDINA_2018.pdf

WATT'S S.A. (2018)

Watt's S.A. nace en Chile en 1941 como una empresa familiar orientada a la elaboración de mermeladas caseras. Actualmente es una Sociedad Anónima abierta, dedicada a la industria alimenticia y vitivinícola, con una importante participación en los mercados nacionales del retail y la industria. Su casa matriz está en la comuna de San Bernardo, al sur de Santiago en Chile, en la Región Metropolitana.

Entre las marcas asociadas a esta empresa y dedicadas al procesamiento de frutas se encuentran: "Frutos del Maipo", "Frugo", "Wasil", "Regimel", entre otras. Establecidas en 6 plantas productivas ubicadas en la zona centro sur de Chile.

Tal como en los casos anteriores, la empresa pone un especial énfasis, en términos de sustentabilidad, en el uso del agua y de la energía eléctrica y otros combustibles.

Watt's, procesa toda la serie de productos Frutos del maipo, Frugo, Wasil y Regimel, en cuyo proceso de elaboración intervienen frutas, entre ellas los cítricos. Sin embargo, en este informe no se detallan las cantidades utilizadas debido a que parte de las materias primas utilizadas se obtienen previamente procesadas como concentrados de fruta obtenidos de proveedores externos. De este modo, el residuo orgánico producido específicamente en la empresa se elimina como un todo uniforme.

Sin embargo, como parte del "Acuerdo de Producción Limpia (APL) de Cero Residuos a Eliminación", firmado a finales del 2018, en el que Watt's se compromete a disminuir, hacia el año 2020, en un 90% las casi 12 mil toneladas que genera a nivel nacional y que terminan en rellenos sanitarios.

Según lo declarado en el reporte, en el 2018 la empresa generó 50.484 toneladas de residuos sólidos no peligrosos orgánicos: destacando entre ellos la pomasa, es decir, los restos de frutas provenientes del proceso productivo, el cual se destina a alimentación animal, al igual que los restos de vegetales. El carozo o cuesco de las frutas, se utiliza para recuperación energética. Todo ello representa un 56% de los residuos sólidos generados.

Fuente:

<http://www.watts.cl/docs/default-source/default-document-library/reporte-de-sustentabilidad-watt-39-s-2018.pdf?status=Temp&sfvrsn=0.509795340834065>

Anexo 2: Formulario del diferencial semántico

EVALUACIÓN DE DIFERENCIAL SEMÁNTICO

Nombre:	
Sexo:	<input type="radio"/> F <input type="radio"/> M <input type="radio"/> Otro
Edad:	Ocupación:
Grupo:	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3

Con el objetivo de desarrollar un material compuesto basado en un residuo doméstico, se busca caracterizar sus distintas cualidades desde la percepción de distintos grupos de potenciales usuarios.

En el presente cuestionario se le solicita al encuestado **ver y manipular** las muestras del material en sus distintos formatos para luego evaluar de forma individual cada uno de los pares de **conceptos opuestos** planteados, siendo 3 el extremo de un concepto y 0 el punto neutral.

Evaluación de atributos sensoriales

	3	2	1	0	1	2	3	
Duro	<input type="radio"/>	Blando						
Liso	<input type="radio"/>	Rugoso						
Rigido	<input type="radio"/>	Flexible						
Elástico	<input type="radio"/>	No elástico						
Ligero	<input type="radio"/>	Pesado						
Brillante	<input type="radio"/>	Mate						
Oloroso	<input type="radio"/>	Inoloro						
Colorido	<input type="radio"/>	Incoloro						
Caliente	<input type="radio"/>	Frío						
Resistente	<input type="radio"/>	Frágil						
Textura regular	<input type="radio"/>	Textura irregular						
Fibroso	<input type="radio"/>	No fibroso						

Evaluación de atributos interpretativos

	3	2	1	0	1	2	3	
Agresivo	<input type="radio"/>	Tranquilo						
Acogedor	<input type="radio"/>	Distante						
Elegante	<input type="radio"/>	Vulgar						
Moderno	<input type="radio"/>	Antiguo						
Natural	<input type="radio"/>	Artificial						
Convencional	<input type="radio"/>	Innovador						

Artesanal	<input type="radio"/>	Industrial						
Limpio	<input type="radio"/>	Sucio						
Temporal	<input type="radio"/>	Duradero						
Sostenible	<input type="radio"/>	Insostenible						
Barato	<input type="radio"/>	Costoso						
Simple	<input type="radio"/>	Complejo						
Transformable	<input type="radio"/>	Inalterable						

Evaluación de atributos afectivos

	3	2	1	0	1	2	3	
Aburrimiento	<input type="radio"/>	Diversión						
Sorpresa	<input type="radio"/>	Decepción						
Agrado	<input type="radio"/>	Desagrado						
Confusión	<input type="radio"/>	Encanto						
Rechazo	<input type="radio"/>	Aprobación						
Curiosidad	<input type="radio"/>	Desinterés						
Disgusto	<input type="radio"/>	Atracción						
Satisfacción	<input type="radio"/>	Frustración						

1. ¿Cómo describirías este material?

2. ¿Asocias el material con algún otro material a partir de su estética?

3. ¿En qué contexto verías aplicado este material?

4. ¿Cuáles son las cualidades sensoriales únicas del material?

5. ¿Cuáles son las cualidades sensoriales más agradables del material? Y ¿Cuáles son las menos agradables?

6. ¿Con que conceptos asociarías al material? ¿Crees que evoca alguna emoción en particular?

Anexo 3: Matriz de Pugh para la evaluación y selección de ideas

- A = Propuesta orientada al material resultante del proceso A
- B = Propuesta orientada al material resultante del proceso B
- AB = Propuesta aplicable en ambos tipos de materiales
- X = Se precisa especificar más el contexto de uso para determinar si es una influencia positiva, negativa o neutra.

			Criterios de selección																		Puntaje		
			MATERIAL						PROCESO				ESTÉTICA				PERCEPCIÓN						
			Desgaste al contacto con agua	Poroso y de alta higroscopicidad	Material con memoria elástica	Resistencia media a la tracción	Alta resistencia a la flexión	Rápida degradación en sustrato	Comestible (no-tóxico)	Se puede cortar y grabar en láser	Se puede coser	Termosellable	Moldeable	Superficie regular y rugosa	Color natural y mate	Translúcido (espesor < 2mm)	Aroma dulce de intensidad alta	Gusto entre dulce y amargo	Acogedor	Natural		Limpio	Artesanal
Propuestas de aplicación	ENVASAJE Y CONTENEDORES	Anilla para botellas de jugo/mermelada	1	1	1	-1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	16	
		Packaging de alimentos secos	0	-1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	X	0	1	1	1	1	13
		Packaging de tabaco	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	X	1	0	1	1	1	1	15
		Almáximo biodegradable	1	1	0	1	1	1	-1	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	1	1	1	1	9
		Ánfora funeraria biodegradable	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	13
	TALABARTERÍA / MARROQUINERÍA (SÍMIL AL CUERO)	Estuche enrollable para lápices	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	15	
		Estuche protector de electrónicos	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	14
		Encuadernación / funda de libro	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	16
		Plantilla de zapatos	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	13
	INDUMENTARIA	Gorro tipo jockey	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	X	0	1	1	1	1	12
		Máscara de fantasía	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	0	1	1	1	1	15
	MENAJE COCINA	Coctelería desechable	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	14
		Cubiertos desechables	-1	1	0	1	-1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	-1	-1	1	1	1	0	8
		Posavasos	-1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	14
	ILUMINACIÓN	Pantalla de lámpara	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	16
		Luminaria aromática	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	16
	OTROS	Accesorio exfoliante de piel	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	17
		Aros o joyería orgánica	-1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	0	1	1	1	1	14
		Cortina texturizada	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	15
		Juguete	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	14