

Proyecto financiado por el Programa U-INICIA
Concurso de Reforzamiento de Inserción Productiva
de Nuevos Académicos VID 2011; código UI 005/15,
Titulado; Desarrollo de materiales sustentables
basados en subproductos de la agricultura,
forestales o de posconsumo domiciliario;
Universidad de Chile.



**DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO BASADO EN
CAROZO DE DURAZNO Y POLIPROPILENO PARA
APLICACIONES CONSTRUCTIVAS**

Memoria para optar al Título Profesional de Diseñador
Industrial

Josefa Molina Mora
Profesor guía: Andrea Wechsler Pizarro

Santiago, Septiembre
2016

A ustedes mamá y papá,
porque me han enseñado
a remar y a gritar en ésta
y todas mis corrientes
duras.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a la profe Andrea, por guiar mis ideas con respeto y por su gran experiencia que me dio la tranquilidad y confianza para afrontar este proceso.

Agradezco la ayuda del proyecto U-inicia “Desarrollo de materiales sustentables basados en subproductos de la agricultura, forestales o de posconsumo domiciliario”.

Al Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío Bío, por recibirme como una más de ustedes, por su conocimiento y ayuda. Gracias Cynthia, Mario y Alfredo.

A Agrofoods, por abrirme sus puertas a conocer su proceso y facilitar muestras de carozos. Especialmente a Carolina, quien desde un principio mostró interés en este proyecto y siempre tuvo una respuesta oportuna.

A Petroquím, por su interés en la investigación de materiales compuestos y su ayuda con la muestra del polímero utilizado en la experimentación de este proyecto.

Al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad de Chile, en especial a Magda Orell, por su cálida y desinteresada ayuda.

A mis amigas de diseño, por su amistad y compañerismo estos años y en especial en esta última etapa.

Y especialmente a todos los que están en mi corazón.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo general desarrollar un material compuesto de bajo impacto ambiental basado en un residuo de la industria hortofrutícola chilena.

Esta investigación se llevó a cabo en dos etapas, en la primera se identificó y caracterizó el carozo de durazno como residuo agroindustrial de la industria de procesamiento de conservas y en la segunda se seleccionó el polipropileno como aglomerante de bajo impacto ambiental. En la segunda fase se exploró la factibilidad de conformar un material compuesto con el residuo y aglomerante seleccionados. Posteriormente se caracterizó el material en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas, de moldeabilidad y envejecimiento y se comparó con el compuesto de madera-plástico y con el polipropileno.

El material resultante demostró tener buenas propiedades físicas, con un resultado de hinchamiento un 50% más bajo que la madera-plástico tradicional. En cuanto a las propiedades mecánicas, el módulo elástico en flexión del material diseñado es un 40% más bajo que el de la madera-plástico.

Presenta buenas terminaciones mediante el mecanizado y con ciertas restricciones el moldeo con calor es una buena opción para trabajar el material.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	iii
TABLA DE CONTENIDOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS	x
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1. Sustentabilidad.....	4
1.1 Ecología industrial.....	5
1.2 Gestión de residuos.....	7
1.3 Atributos de sustentabilidad para un material compuesto.....	8
2. La agricultura en Chile.....	9
2.1 La agroindustria en Chile.....	9
2.1.1 Residuos agroindustriales.....	9
2.2 La agroindustria hortofrutícola en Chile.....	10
2.2.1 Residuos agroindustriales hortofrutícolas en Chile	12
2.3 Industria de procesamiento de conservas.....	15
2.4 La industria de procesamiento de durazno en Chile.....	16
2.4.1 Caso de estudio: Agrofoods Central Valley.....	16
2.4.2 Atributos de selección de residuos para un material compuesto de impacto ambiental más bajo.....	17
2.4.3 El carozo de durazno	18
3.1.2 Materiales compuestos basados en carozos de durazno.....	20
3. Materiales compuestos.....	22
3.1 Sustentabilidad y materiales.....	22
3.1.1 Ejemplos de materiales basados en residuos agroindustriales hortofrutícolas disponibles en el mercado.....	24
3.3 Adhesivos utilizados en materiales compuestos.....	27
3.3.1 Adhesivos utilizados en compuestos basados en madera.....	27
3.3.3 Criterios de selección de aglomerante	31
3.4 El compuesto de madera-plástico.....	32

3.4.1 El polipropileno como aglomerante	33
4. Conclusión de la revisión de literatura.....	33
III METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	34
1. Fase I revisión de literatura y trabajo de campo	36
1.1 Métodos objetivo 1	36
1.1.1 Revisión de literatura	36
1.1.2 Trabajo de campo.....	36
1.1.3 Análisis microscópico.....	37
1.1.4 Densidad y contenido de humedad.....	38
1.1.5 Análisis de distribución de tamaño de partículas.....	38
1.1.6 Análisis de degradación del carozo a la intemperie.....	39
1.2 Métodos objetivo 2.....	40
2. Fase II experimentación.....	41
2.1 Métodos objetivo 3.....	42
2.1.1 Preparación del carozo: secado, triturado y tamizado	42
2.1.2 Mezclado de los componentes del material	43
2.1.2.1 Premezclado	43
2.1.2.2 Procesamiento de la mezcla.....	44
2.1.3 Preparación del carozo: secado, triturado y tamizado	45
2.1.4 Mezclado de los componentes del material	46
2.1.4.1 Premezclado	46
2.1.4.2 Procesamiento de la mezcla, pelletizado	47
2.1.5 Conformación del material.....	48
2.1.5.1 Prensado.....	48
2.1.5.2 Extruído	52
2.2 Métodos objetivo 4.....	53
2.2.1 Ensayos del material.....	53
2.2.1.1 Ensayos físicos.....	54
2.2.1.2 Ensayos mecánicos	56
2.2.2 Pruebas de mecanizado.....	58
2.2.2.1 Corte.....	58
2.2.2.3 Perforado	58
2.2.3 Pruebas de moldeabilidad por calor	59

2.2.3.1 Fuente de calor: horno convencional	59
2.2.3.2 Fuente de calor: planchas calientes	59
2.2.4 Prueba de envejecimiento del material	59
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
1. Identificación del residuo.....	62
1.1 Resultados de la entrevista a Agrofoods Central Valley	62
2. Caracterización del carozo de durazno	66
2.1 Descripción microscópica del carozo de durazno.....	66
2.2 Densidad y contenido de humedad del carozo	67
2.3 Análisis de tamaño distribución de partículas de 300 g de carozo	68
2.4 Análisis de degradación del carozo a la intemperie	69
3.Comparación y selección del aglomerante.....	73
4.Conformación del material	75
4.1 Etapa A de la conformación del material	75
4.2 Etapa B de la conformación del material	76
4.2.1 Tableros obtenidos de la prensa HP.....	76
4.2.2 Tableros obtenidos de la prensa Dumont con método de prensado tradicional.77	
4.2.3 Tableros obtenidos con método de prensado A.....	78
4.2.4 Tableros obtenidos con método de prensado B.....	78
5.Caracterización del material diseñado	81
5.1 Propiedades físicas.....	81
5.1.1 Densidad	81
5.1.2 Contenido de humedad.....	82
5.1.3 Absorción de agua e Hinchamiento	83
5.2 Propiedades mecánicas	85
5.2.1 Ensayo de flexión.....	85
5.2.2 Ensayo de tracción.....	87
5.3 Características de envejecimiento	89
5.4 Características de mecanizado	90
5.5 termoldeabilidad.....	93
VII CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO	94
CONCLUSIONES.....	95
TRABAJO FUTURO	96

LISTA DE REFERENCIAS	97
ANEXOS	100
Anexo 1	101
Anexo 2	102
Anexo 3	109
Anexo 4	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de concepto de sustentabilidad	5
Figura 2: Proceso de producción lineal	6
Figura 3: Proceso de producción cíclico	6
Figura 4: Estrategia de jerarquización de medidas a tomar para la gestión de residuos	7
Figura 5: Cantidad de plantas procesadores de los subsectores de la agroindustria hortofrutícola en Chile.	11
Figura 6: Gráfico cantidad de residuos líquidos por subsector al año.	12
Figura 7: Gráfico cantidad de residuos sólidos por subsector al año.	12
Figura 8: Gráfico destino de los residuos de la agroindustria hortofrutícola.	13
Figura 9: Gráfico de porcentaje de plantas que llevan sus residuos a vertederos por subsector.	14
Figura 10: Gráfico de especies procesadas por plantas conserveras.	15
Figura 11: Productos Agrofoods	16
Figura 12: Logo Agrofoods Central Valley.	16
Figura 13: Anatomía de Prunus Persica	18
Figura 14: a. Superficie para baño Stone Fruit Floors. b. Piso Stone Fruit Floors	20
Figura 15: a. Tamizado de carozos. b. Conformación del hormigón. c. Curado del hormigón. c. Ensayo	21
Figura 16: Aplicaciones Kirei Coco Tiles.....	24
Figura 17: a. Bases de asientos para autos. b. Maceteros de jardín	24
Figura 18: Productos AH!	25
Figura 19: Maceteros Mush-bloom Standard Planters	25
Figura 20: Contenedores Husque	26
Figura 21: a. Carozos sumergidos en agua. b. Corte de carozo. c. Corte de carozo..	37
Figura 22: Muestra y microscopio óptico.....	37
Figura 23: Termobalanza marca Precisa.	38
Figura 24: Tamizador marca Fritsch.....	38
Figura 25: Carozos recién dispuestos a la intemperie.....	39
Figura 26: Diagrama de experimentación.....	41
Figura 27: a. Carozos enteros y en mitades en horno. b. Carozos triturados en horno..	42
Figura 28: a. Molinillo manual. b. Licuadora convencional.....	42
Figura 29: Coladores de uso doméstico.....	43
Figura 30: a. Pesado de carozo triturado a 15 mesh. b. Pesado de	43
Figura 31: a. Mezcla en molde. b. Molde prensado.....	44
Figura 32: a. Polipropileno derretido. b. Mezcla en molde..	44
Figura 33: Carozos enteros en estufa de secado..	45
Figura 34: Molino de cuchillos.....	45
Figura 35: a. Muestra CD1 premezclada. b. Muestra CD2 premezclada	46

Figura 36: a. Muestra en zona de alimentación de extrusora. b. Perfiles obtenidos. c. Perfiles cortados.....	47
Figura 37: a. Pellet de la muestra CD1; b. Pellets de la muestra CD2.	47
Figura 38: a. Prensa de platos calientes marca Dumont. b. Prensa de platos caliente marca HP, con sistema de enfriamiento incorporados.	48
Figura 39: Esquema de proceso de prensado.....	49
Figura 40: Prensa Dumont calentando sin prensar.	50
Figura 41: Prensa Dumont con plato inferior fijado con listones.	51
Figura 42: Tablero enfriándose con peso.	51
Figura 43: Desmoldado con espátula.....	51
Figura 44: Extrusión de mezcla CD2..	52
Figura 45: Perfilómetro marca Ludlum modelo 44-77.	54
Figura 46: a. Probeta durante el ensayo de flexión. b. Probetas antes de ser ensayadas..	56
Figura 47: a. Corte de probetas con router CNC. b. Probeta durante el ensayo de tracción. c. Probetas antes de ser ensayadas.....	57
Figura 48: a. Corte en sierra de banco. b. Probetas cortadas en sierra de banco..	58
Figura 49: Lijado de probeta en esmeril de banco..	58
Figura 50: Perforado de probeta con taladro de pedestal.....	58
Figura 51: a. Molde simple curvatura. b. Molde doble curvatura.....	59
Figura 52: Probetas a la intemperie.	59
Figura 53: Gráfico de producción Agrofoods. Elaboración propia basado en.....	62
Figura 54: Residuos del proceso productivo del durazno en conserva.....	63
Figura 55: Cálculo de gastos por gestión de residuos en Agrofoods.....	64
Figura 56: Diagrama de flujo durazno en conserva.	65
Figura 57: Braquiescleroides del endocarpo Prunus Pésica, muestra obtenida de Agrofoods.	66
Figura 58: Contenido de humedad en termobalanza.	67
Figura 59: Granulometrías tamizadas.	68
Figura 60: Probeta de conformación del material.....	75
Figura 61: Probeta de mezclado térmico.	75
Figura 62: Tableros obtenido de prensa con sistema de enfriamiento incorporado, muestra CD1 y CD2. b. Muestra CD1 en detalle.	76
Figura 63: a. Irregularidad superficial. b. Soplado. c. Fundido incompleto d. Alta porosidad. e. Baja porosidad.	79
Figura 64: a. perfiles extruídos de muestra CD2. b. Detalle de los perfiles extruídos. ..	80
Figura 65: Gráfico de perfil de densidad.	81
Figura 66: Gráfico de contenido de humedad.	82
Figura 67: a. Gráfico de absorción de agua. b. Gráfico de hinchamiento.	83
Figura 68: Gráfico esfuerzo de fluencia.	85
Figura 69: Gráfico módulo de elasticidad.....	85
Figura 70: Gráfico módulo de ruptura.....	85
Figura 71: Gráfico esfuerzo de fluencia en tracción.....	87

Figura 72: Gráfico resistencia a la tracción.....	87
Figura 73: a. Probetas recién dispuestas. b. Probetas de una semana a la intemperie. c. Probetas de dos semanas a la intemperie. d. Probetas de tres semanas a la intemperie..	89
Figura 74: a. Corte de muestra CD1. b. Corte de muestra CD2.....	90
Figura 75: a. Muestra CD1 lijada con esmeril de banco. b. Muestra CD2 lijada con esmeril de banco.....	91
Figura 76: a. Muestra CD1 perforada con taladro de pedestal. b. Muestra CD2 perforada con taladro de pedestal.....	92
Figura 77: a. Probeta de simple curvatura. b. Probetas de doble curvatura.....	93
Figura 78: Almacenamiento de material orgánico de durazno.....	101
Figura 79: a. Zona de disposición de carozos. b. Almacenamiento de carozos de durazno, recién dispuestos.....	101
Figura 80: a. Muestra de carozos luego de meses. Elaboración propia.....	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Atributos de sustentabilidad para un material compuesto.....	8
Tabla 2: Criterios de selección de residuo	17
Tabla 3: Criterios de selección de aglomerante.....	31
Tabla 4: Resumen metodología de investigación.....	35
Tabla 5: Criterios de selección de industria conservera.....	36
Tabla 6: Matriz de valoración de criterios de selección de aglomerante de bajo impacto para un material compuesto de menor impacto ambiental.....	40
Tabla 7: muestras del material	46
Tabla 8: Resumen de uso de la prensa	48
Tabla 9: Variables de experimentación en método de prensado tradicional.....	50
Tabla 10: Variables de experimentación en método de prensado A	50
Tabla 11: Variables de experimentación en método de prensado B.....	51
Tabla 12: Ensayos físicos y mecánicos aplicados al material desarrollado	53
Tabla 13: Probetas para prueba de envejecimiento a la intemperie	60
Tabla 14: Porcentajes de variedades procesados en la planta de Agrofoods.....	62
Tabla 15: Cantidad de residuos sólidos. Promedio anual entre 2011 y 2015.....	64
Tabla 16: Resultado de densidad del carozo de durazno. Elaboración propia.....	67
Tabla 17: Distribución de tamaño de partículas	68
Tabla 18: Atributos de observación del carozo antes y después de su exposición a la intemperie.....	69
Tabla 19: Fotografías semanales de carozos expuestos a la intemperie.....	70
Tabla 20: Comparación de materiales según criterios de selección del aglomerante...	74
Tabla 21: Resultados proceso de mezclado térmico de etapa A.....	75

Tabla 22: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método tradicional en prensa Dumont.....	77
Tabla 23: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método A en prensa Dumont.....	78
Tabla 24: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método B en prensa Dumont.....	78
Tabla 25: Características de los tableros obtenidos de la prensa Dumont	79
Tabla 26: Perfil de densidad de láminas de muestra CD1 y CD2, comparados con polipropileno al 100% y madera-plástico tradicional	81
Tabla 27: Resultados contenido de humedad.	82
Tabla 28: Resultados de absorción de agua e hinchamiento después de 2 y 24 horas.	83
Tabla 29: Resultados ensayo de flexión	86
Tabla 30: Resultados ensayo de tracción	88
Tabla 31: Evaluación corte con sierra de banco.....	90
Tabla 32: Evaluación lijado con esmeril de banco.....	91
Tabla 33: Evaluación perforado en talador de pedestal	92



I INTRODUCCIÓN

La crisis ambiental global, provocada por el aumento de la población y la actividad industrial, ha presentado el desafío de modificar los procesos de producción, cerrando los ciclos productivos, de manera que los residuos que se generan en un proceso, sirvan de materia prima para otro.

En Chile, la industria hortofrutícola genera gran cantidad de residuos sólidos orgánicos y muchos de ellos no son utilizados ni tratados, generando grandes problemas para la industria. Estos residuos generan gran interés para su utilización en materiales compuestos, debido a su composición lignocelulósica.

Este proyecto busca dar respuesta a esta problemática a través del objetivo general:

DESARROLLAR UN MATERIAL COMPUESTO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL BASADO EN UN RESIDUO DE LA AGROINDUSTRIA HORTOFRUTÍCOLA CHILENA PARA APLICACIONES CONSTRUCTIVAS.

Para lograr éste, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR UN RESIDUO AGROINDUSTRIAL HORTOFRUTÍCOLA CHILENO CON POTENCIAL PARA SER UTILIZADO EN EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL.
- SELECCIONAR UN AGLOMERANTE DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL ADECUADO PARA EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO.
- DISEÑAR UN MATERIAL BASADO EN EL RESIDUO Y AGLOMERANTE SELECCIONADOS.
- CARACTERIZAR EL MATERIAL DISEÑADO EN CUANTO A SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, DE MECANIZADO, MOLDEABILIDAD Y DE ENVEJECIMIENTO.

Para cumplir con los objetivos, es necesario responder la pregunta de investigación; ¿es posible utilizar un residuo de la industria hortofrutícola chilena como material lignocelulósico para la fabricación de un material compuesto de bajo impacto ambiental?

Esta investigación consta de dos fases, la fase I denominada revisión de literatura, trabajo de campo y análisis del carozo y la fase II, experimental. La fase I, incluye revisión de literatura, una entrevista a una industria conservera, análisis del carozo y análisis comparativo de aglomerantes apropiados para el residuo. La fase II, incluye el conformado del material, ensayos físico-mecánicos bajo normas chilenas y ASTM, de mecanizado, moldeabilidad y de envejecimiento. Esta fase, a su vez, se divide en dos etapas, la etapa A contempla métodos manuales y artesanales y la etapa B, tecnología de laboratorio.



II REVISIÓN DE LITERATURA

1. SUSTENTABILIDAD

El deterioro ambiental actual, resultado de la actividad industrial y de la explosión demográfica en los dos últimos siglos, ha puesto a la sociedad el desafío de replantear los procesos de producción industrial (Cervantes et al., 2009).

El sistema de producción actual, debe su creación a la revolución industrial. Ésta se conformó gradualmente y no de manera planificada a medida que diseñadores, ingenieros y otros cerebros intentaban resolver problemas y obtener ventaja inmediata de lo que veían como oportunidades, en un periodo de cambios rápidos y generalizados sin precedentes. A pesar de que las intenciones de sus precursores fue el progreso de la humanidad, no pensaron en las consecuencias del sistema de producción que se iba desarrollando. Estas consecuencias han sido las expulsiones de materiales tóxicos al aire, agua y suelo, la generación de desechos durante y a final de los procesos de producción, la reducción o destrucción de los recursos naturales, entre otros (McDonough & Braungart, 2002).

Como respuesta a esto, en la década de los 60 emergen los primeros movimientos sociales para crear conciencia sobre el cuidado del planeta y en consecuencia surgen las primeras organizaciones que comienzan a hacerse cargo del problema (Cervantes et al., 2009).

Uno de ellas fue el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, United Nations Environmental Programme) fundada en 1972. Parte de su

constitución consistió en la redacción de la misión; *“proveer liderazgo y compromiso mutuo en el cuidado del medioambiente inspirando, informando y posibilitando a las naciones y las personas el mejoramiento de su calidad de vida sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras”* (Unep.org, 2016). Con el tiempo, ésta se convirtió en la primera definición de sustentabilidad.

Posteriormente, el término ha evolucionado hasta el concepto moderno de sustentabilidad, expuesto en el informe Brundtland, *“Our Common Future”*, publicado en 1987; *“El desarrollo sustentable hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras.”* (Brundtland, 1987). Esta es la definición más reconocida por la comunidad y aceptada por el World Commission on Environment and Development de las Naciones Unidas (Calvente, 2007).

Además, el término desarrollo sustentable, compromete tres aspectos principales: sustentabilidad económica, ambiental y social.

La sustentabilidad económica, tiene como objetivo el desarrollo equilibrado del éxito económico, de la compatibilidad social y del trato cuidadoso del medio ambiente y se mide a través de tres criterios: desempeño económico, presencia en el mercado e impactos económicos indirectos (ProChile, 2015).

La sustentabilidad ambiental considera el cuidado de los recursos naturales, la eficiencia en el uso de recursos, las emisiones de gases de efecto invernadero, además de los impactos al medio biótico, la gestión de residuos, y el uso de sustancias químicas sobre las cuales existe evidencia o sospecha que pueden tener efectos negativos sobre el

ecosistema o la salud humana (ProChile, 2015).

Y por último, la sustentabilidad social persigue que los procesos, sistemas, estructuras y relaciones, aporten efectivamente a las personas, creando comunidades equitativas, conectadas, democráticas y que provean una buena calidad de vida (ProChile, 2015).

1.1 ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Para lograr el desarrollo sustentable es necesario transformar el modelo industrial tradicional; en que los procesos productivos individuales se alimentan de materia prima y generan productos dejando residuos a lo largo y al final del proceso (ver figura 3), en un modelo más integrado, un ecosistema industrial. En este sistema, el consumo de energía y materiales está optimizado, la generación de residuos minimizada y los residuos de un proceso sirven como materia prima para otro proceso (ver figura 3). Los procesos productivos en un ecosistema industrial transforman los materiales de una forma a otra, por ejemplo, un pedazo de acero puede ser usado un año en una lata de conservas, un año en un automóvil y los 10 años siguientes en el esqueleto de un edificio (Cervantes et al., 2009; Frosch & Gallapoulos, 1989).

Este sistema imita a los ecosistemas naturales, en la manera en que se usa la materia y la energía. A esta analogía, se le denomina metabolismo industrial.

El sistema industrial actual, se parece al sistema biológico insostenible que existía en la tierra antes de desarrollarse la fotosíntesis. En éste, las células obtenían



Figura 1: Esquema de concepto de sustentabilidad (Cervantes, Sosa, Rodríguez, & Robles, 2009).

energía a partir de la fermentación de la masa inorgánica presente en la atmósfera y los océanos, donde los efluentes son el monóxido de carbono, ácido cianhídrico y sulfuro de hidrógeno. El dióxido de carbono se acumulaba en la atmósfera primitiva, tal cual como se acumulan los desechos, en el sistema de producción industrial actual.

En respuesta a la acumulación del dióxido de carbono, surgió la fotosíntesis anaeróbica, a cargo de las cianobatecrias, que ocupaban la luz solar y el residuo dióxido de carbono de la atmósfera como recurso para generar energía y obteniendo como residuo moléculas

orgánicas que más tarde les servirían para sobrevivir. Organismos fermentativos y cianobacterias coexistían en un sistema en que las primeras dependían de las segundas para sobrevivir. Con los años, los organismos fermentativos se extinguen, ya que el proceso de respiración de oxígeno que desarrollan las cianobacterias es más eficiente que la fermentación.

Posteriormente evolucionan en plantas y luego en animales, donde cada categoría de organismo utiliza biomasa o los residuos del otro y de esta manera nace el ciclo cerrado del dióxido de carbono. Este primer ciclo cerrado de funcionamiento energético es el ejemplo de sistema de producción a la que aspira el metabolismo industrial (Ayres, 1989).



Figura 2:
Proceso de producción lineal (Prevenblog, 2015b).

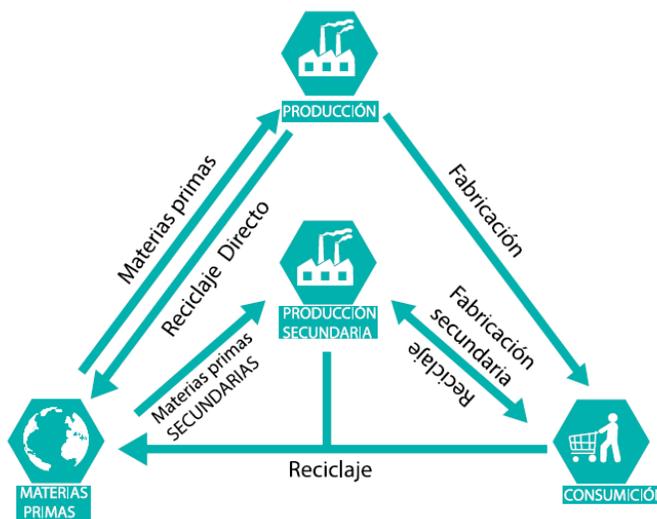


Figura 3:
Proceso de producción cíclico (Prevenblog, 2015a).

1.2 GESTIÓN DE RESIDUOS

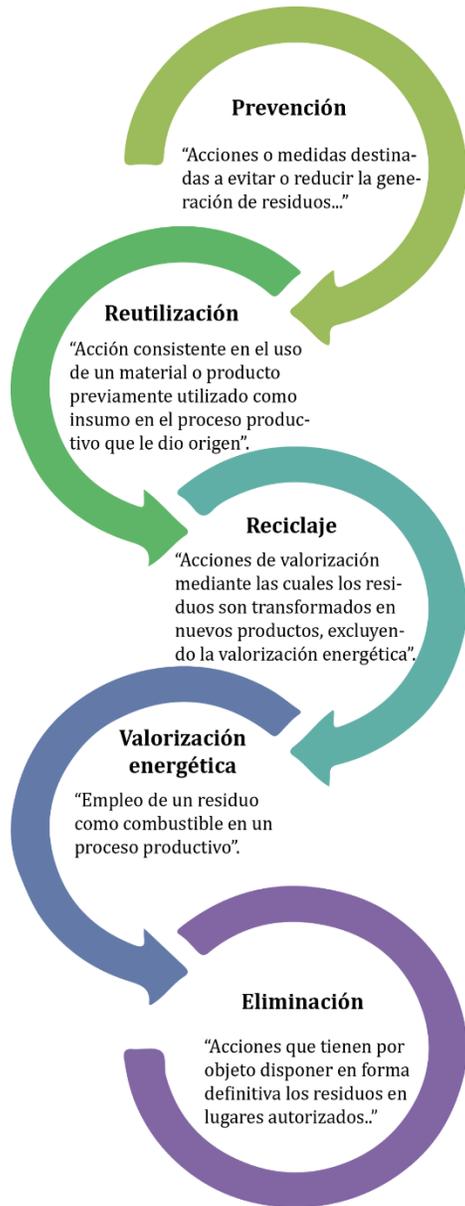


Figura 4: Estrategia de jerarquización de medidas a tomar para la gestión de residuos (J. Molina, Parodi, & Pizarro, 2015).

Un residuo es un producto secundario obtenido de un proceso productivo o un producto en desuso debido al fin de su vida útil, que pueden tener o no valor comercial (Saval, 2012).

Los residuos son generados en las distintas etapas del ciclo de vida de un producto: durante la extracción y producción de las materias primas, en la manufactura misma y una vez terminada su vida útil (Conama, 2005). Para la gestión de residuos, el Ministerio de Medio Ambiente de Chile propone una estrategia de jerarquización de medidas a tomar para tratarlos. Estas medidas son prevención, reutilización, reciclaje, valoración energética y finalmente su eliminación (ver figura 4).

Las medidas de prevención son las *"acciones o medidas destinadas a evitar o reducir la generación de residuos, disminuir la presencia de sustancias peligrosas o contaminantes en ellos y minimizar los impactos significativos sobre el medio ambiente o la salud de las personas que éstos generen"*. Reutilización se considera a *"toda acción consistente en el uso de un material o producto previamente utilizado como insumo en el proceso productivo que le dio origen"*. El reciclaje lo define como las *"acciones de valorización mediante las cuales los residuos son transformados en nuevos productos, excluyendo la valorización energética"*. La valoración energética, es el *"empleo de un residuo como combustible en un proceso productivo"*. Y finalmente la eliminación, son *"aquellas acciones que tienen por objeto disponer en forma definitiva de los residuos en lugares autorizados para ello en conformidad a la normativa vigente"* (MinisterioDelMedioAmbiente, 2011).

1.3 ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD PARA UN MATERIAL COMPUESTO

Para que un material sea sustentable, puede seguir varios caminos y cumplir con diferentes requisitos, lo cual lo hará demostrar, en un análisis del ciclo de vida, su calidad de sustentable (Madrid & Aguirre, 2013).

Para esta investigación, se consideraron los siguientes atributos de sustentabilidad que debe cumplir el material desarrollado.

Los atributos de sustentabilidad, presentados en la tabla 1, están clasificados en los tres aspectos del concepto de sustentabilidad; económica, ambiental y social. En la segunda columna se presentan los atributos de sustentabilidad, basados en la teoría de ecología industrial y en la tercera, se muestran los atributos adaptados a los requerimientos del material diseñado.

Tabla 1: Atributos de sustentabilidad para un material compuesto

	Atributos basados en ecología industrial	Atributos adaptados al material
Sustentable económicamente	Usa materiales locales	La fibra se genera dentro del país El adhesivo se produce en el país
	Usa materiales de bajo costo	Bajo costo de obtención de la fibra Bajo costo del adhesivo
Sustentable ambientalmente	Usa residuos como recursos	Las fibras se obtienen como residuo de otro proceso productivo
	Elimina materiales tóxicos y residuos	El proceso de producción del material no
	Aumenta la eficiencia energética	Bajo requerimiento energético en el secado de la fibra
		Baja temperatura de procesamiento
	Aumenta el tiempo de vida útil	Durabilidad del material
Usa materiales reciclables o biodegradables	Fin de vida	
Sustentable socialmente	Es inocuo para la salud humana	No libera sustancias tóxicas durante su uso

Fuente: Elaboración propia basado en (Cervantes et al., 2009; Frosch & Gallpopoulos, 1989; ProChile, 2015; Wechsler, 2013).

2. LA AGRICULTURA EN CHILE

Chile cuenta con una superficie agrícola de casi un tercio del territorio continental. Debido a su morfología y ubicación, cuenta con una gran diversidad agroclimática y de suelos (CONICYT, 2007). Además, debido a sus condiciones naturales de aislamiento y de la aplicación de una política eficaz en materias fito y zoonosanitarias, cuenta con un patrimonio sanitario reconocido internacionalmente (ODEPA, 2005). Estas dos condiciones hacen posible el desarrollo de variadas cadenas productivas, como lo son la fruticultura, la producción de celulosa y maderas, la

ganadería de carne y de leche y la vitivinicultura, entre otras (CONICYT, 2007).

Desde la década de los 80, las políticas nacionales han promovido la innovación en la agricultura, a través de la modernización, diversificación y búsqueda de competitividad. A pesar de que la exportación de productos primarios ha sido una estrategia muy exitosa, se puede suponer que en los próximos años crecerá la exportación de productos elaborados (ODEPA, 2013).

2.1 LA AGROINDUSTRIA EN CHILE

Se considera agroindustria al *“subconjunto del sector manufacturero que procesa materias primas y productos intermedios agrícolas, forestales y pesqueros. De este modo, el sector agroindustrial incluye fabricantes de alimentos, bebidas y tabaco, textiles y prendas de vestir, muebles y productos de madera, papel, productos de papel e impresión, además de caucho y productos de caucho”* (FAO, 1997).

Entre los productos que se industrializan están frutas, verduras, tubérculos, raíces, semillas, vainas, hojas y flores. En la agricultura primaria estos productos se comercializan en fresco y en los procesados agrícolas son transformados en jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, entre otros (Saval, 2012).

2.1.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los procesos de generación de productos comercializables de origen agrícola, generan gran cantidad de residuos. Son residuos agroindustriales los *“materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los*

generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social”.

Estos residuos, están compuestos de materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina (Saval, 2012).

Desde el nacimiento de los primeros movimientos sociales en pro del cuidado del medioambiente, investigaciones de todas las áreas del conocimiento se enfocaron en la utilización y aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la producción de compuestos útiles (Saval, 2012).

Para definir de qué manera aprovechar un residuo es necesario caracterizarlo, para conocer su composición, el estado y la cantidad que se genera. De este modo, se

puede definir un propósito para éste y por lo tanto, las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento.

En la actualidad, los residuos agroindustriales son utilizados como sustrato para la producción fermentativa, como sustrato para la generación de bioenergéticos, como suplemento alimenticio para animales y como materia prima para materiales compuestos (Saval, 2012).

2.2 LA AGROINDUSTRIA HORTOFRUTÍCOLA EN CHILE

En Chile, la agroindustria hortofrutícola ha tenido un importante desarrollo y actualmente existen aproximadamente 250 plantas industriales en el país. Este sector presenta un comercio internacional muy activo. Las exportaciones se triplicaron entre 2002 y 2012, llegando a USD 1.544 millones, posicionando al país como uno de los principales proveedores de pasas, manzanas secas, ciruelas secas, frambuesas congeladas, pimentón deshidratado, jugos de uva y de manzana, pasta de tomate y duraznos en conserva (ODEPA, 2015).

La industria se divide en cinco subsectores; congelados, conservas, deshidratados, jugos y aceites (IdeaConsultora, 2012).

La orientación de la industria es mayoritariamente exportadora, donde el 80% de las empresas dedicadas a este sector exportan en alguna proporción sus productos. Existen 196 empresas de procesamiento hortofrutícola, que cuentan con un total de 246 plantas procesadoras, de las cuales 43 son de aceites, 47 de congelados, 50 de conservas, 85 de deshidratados y 21 de jugos, como se observa en la figura 5 (IdeaConsultora, 2012).

CANTIDAD DE PLANTAS PROCESADORAS DE LOS
SUBSECTORES DE LA AGROINDUSTRIA
HORTOFRUTÍCOLA

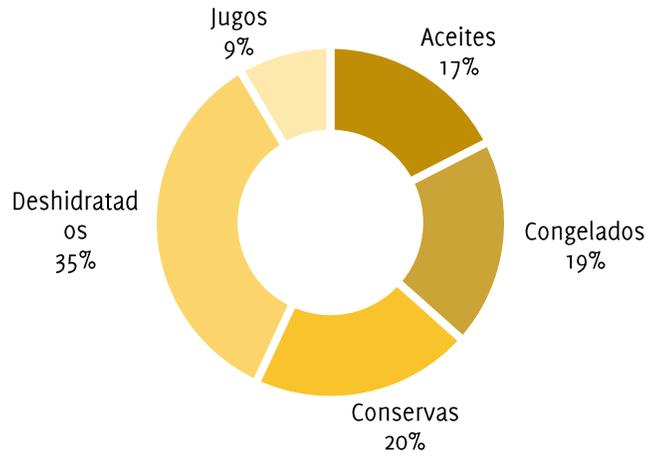


Figura 5: Cantidad de plantas procesadoras de los subsectores de la agroindustria hortofrutícola en Chile. Elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012).

2.2.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES HORTOFRUTÍCOLAS EN CHILE

CANTIDAD DE RESIDUOS

Esta industria genera gran cantidad de residuos. Según el catastro de la agroindustria frutícola chilena realizado por Ideaconsultora y ODEPA en 2012 se generaron más de 7 millones de metros cúbicos de residuos líquidos al año y los sólidos llegan a 1,7 millones de toneladas al año (IdeaConsultora, 2012). La industria

de conservas genera más del 40% de los residuos líquidos y la industria de congelados casi un 54% de los residuos sólidos, ambos del total de residuos generados al año por la agroindustria hortofrutícola, como se observa la figura 6 y 7 (IdeaConsultora, 2012).

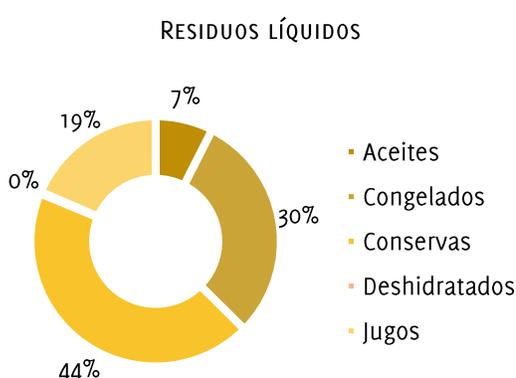


Figura 6: Gráfico cantidad de residuos líquidos por subsector al año. Elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012)



Figura 7: Gráfico cantidad de residuos sólidos por subsector al año. Elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012).

Subsector		Tipo de residuos	
		Residuos líquidos (m³/año)	Residuos sólidos (toneladas/año)
Aceite	Nº de plantas	22	32
	Volumen	520.800	691.567
Congelados	Nº de plantas	13	13
	Volumen	2.088.550	941.531
Conservas	Nº de plantas	17	18
	Volumen	3.053.994	80.298
Deshidratados	Nº de plantas	27	37
	Volumen	14.522	13.874
Jugos	Nº de plantas	11	12
	Volumen	1.289.823	27.766
Total	Nº de plantas	90	112
	Volumen	7.098.387	1.755.036

Fuente: (IdeaConsultora, 2012).

DESTINO DE LOS RESIDUOS

El destino de estos residuos es diverso, se destinan para compostaje, venta, vertedero, planta de tratamiento y otros. Como se observa en la figura 8, de un total de 198 plantas que entregaron esta información en el catastro antes mencionado, “el 30,8% señala que destina los residuos a compostaje, el 24,7% a venta, el 20,7% a vertedero, el 17,7% a planta de tratamiento y el 39,9% a otros, considerando que una misma planta puede indicar más de un destino” (IdeaConsultora, 2012).

Disponer los residuos en vertederos es considerado eliminación. La eliminación dentro de la estrategia jerarquizada de residuos propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente es la última medida a tomar para gestionarlos (MinisterioDelMedioAmbiente, 2011).

DESTINO DE LOS RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA HORTIFRUTÍCOLA

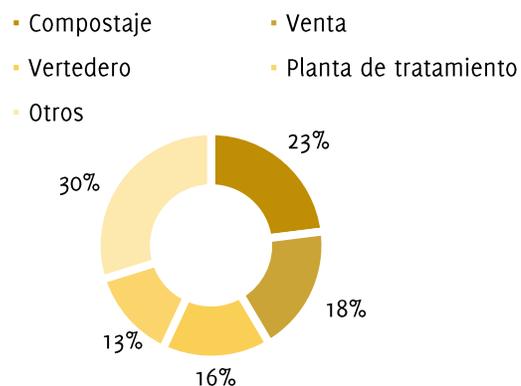


Figura 8: Gráfico destino de los residuos de la agroindustria hortifrutícola. Elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012).

Subsector	Destino residuos	Número de plantas		
		Sí	Total	%
Aceite	Venta	1	38	2,6
	Vertedero	1	38	2,6
	Compostaje	23	38	60,5
	Planta Tratamiento	5	38	13,2
	Otros	23	38	60,5
Congelados	Venta	12	45	26,7
	Vertedero	11	45	24,4
	Compostaje	11	45	24,4
	Planta de tratamiento	8	45	17,8
	Otros	15	45	33,3
Conservas	Venta	7	36	19,4
	Vertedero	15	36	41,7
	Compostaje	10	36	27,8
	Planta Tratamiento	6	36	16,7
	Otros	18	36	50,0
Deshidratados	Venta	22	58	37,9
	Vertedero	9	58	15,5
	Compostaje	12	58	20,7
	Planta Tratamiento	11	58	19,0
	Otros	18	58	31,0
Jugos	Venta	7	21	33,3
	Vertedero	5	21	23,8
	Compostaje	5	21	23,8
	Planta Tratamiento	5	21	23,8
	Otros	5	21	23,8
Total	Venta	49	198	24,7
	Vertedero	41	198	20,7
	Compostaje	61	198	30,8
	Planta Tratamiento	35	198	17,7
	Otros	79	198	39,9

Fuente:
(IdeaConsultora, 2012)

PORCENTAJE DE PLANTAS QUE LLEVAN SUS RESIUDOS A
VERTEDEROS POR SUBSECTOR

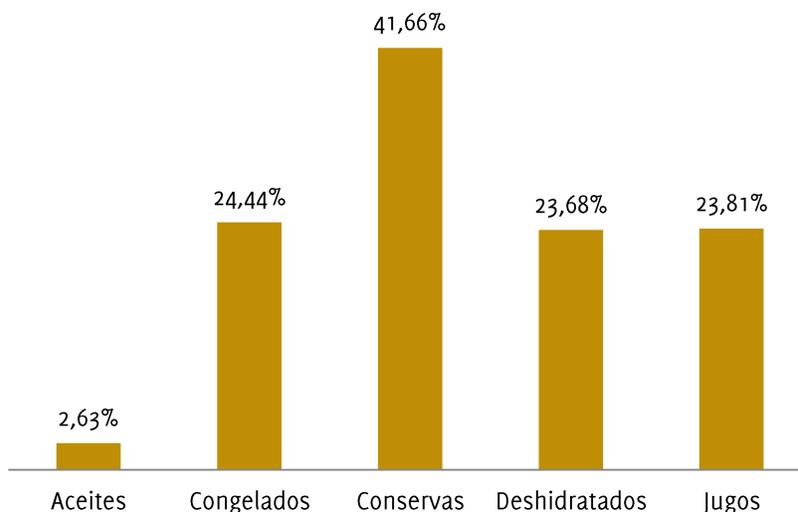


Figura 9: Gráfico de porcentaje de plantas que llevan sus residuos a vertederos por subsector. Elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012).

EL SUBSECTOR DE PROCESAMIENTO DE CONSERVAS ES LA INDUSTRIA QUE PRESENTA MAYORES PROBLEMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS.

Es el subsector que presenta mayor cantidad de residuos líquidos al año, con un 40% de los metros cúbicos generados por la agroindustria hortofrutícola. Además es el tercer subsector en presentar mayor cantidad de residuos sólidos al año, con un 4,6% del total de toneladas producidas al año por el sector. Y por último es en el que un mayor número de plantas destinan sus residuos a vertederos, con un 41,66% (IdeaConsultora, 2012).

2.3 INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE CONSERVAS

Las plantas de conservas se ubican principalmente en las regiones del Maule, Valparaíso y Metropolitana (IdeaConsultora, 2012).

Generan productos a partir del tomate, durazno y cereza, entre otras 35 especies a través de diferentes formas de conservación (ODEPA, 2012).

El subsector presenta el 32% del valor exportado de toda la industria hortofrutícola en 2010 con USD 37.541

millones (IdeaConsultora, 2012).

Dentro de la industria nacional, el principal producto, en cuanto a volumen y exportación, es el durazno. En la temporada 2010/2011 su producción alcanzó 208.268 toneladas, de las cuales el 75% se destina a exportación. Como se observa en la figura 10 de un total de 42 plantas de procesamiento de conservas, 17 procesan duraznos (IdeaConsultora, 2012).

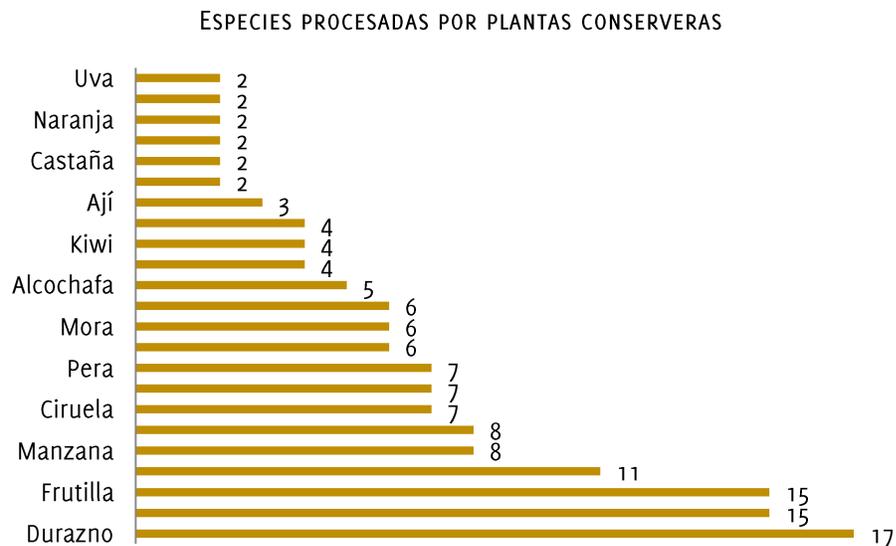


Figura 10: Gráfico de especies procesadas por plantas conserveras. Fuente: elaboración propia basado en (IdeaConsultora, 2012).

LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE DURAZNO ES LA INDUSTRIA CONSERVERA DE MAYOR PRODUCCIÓN Y LA QUE CUENTA CON MAYOR CANTIDAD DE PLANTAS PROCESADORAS.

Procesa 208.268 toneladas en la temporada 2010/2011 y cuenta 17 plantas procesadoras (IdeaConsultora, 2012).

2.4 LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE DURAZNO EN CHILE

En Chile se procesaron alrededor de 208.268 toneladas de durazno en la temporada 2010/2011. La temporada de proceso del durazno se extiende entre enero y abril, dependiendo de la zona de procedencia del país de la fruta y su variedad. Las principales variedad de duraznos que se procesan son: African gold, Andross, Bowen, Cacaman, Carson, Cornado, Corsan, Dixon, Dr. Davis, Everts, Kokana, Pomona y Ross peach. (IdeaConsultora, 2012)

De la materia prima procesada se destina un 60% a duraznos en conserva y 40% a pulpa de durazno. El rendimiento industrial (cantidad de producto en relación a la materia prima original) promedio de la producción de durazno en conserva, varía entre un 65% y 75% dependiendo del formato del producto (entero, mitades, tajadas, cubos) y en el caso de la pulpa de durazno es en promedio un 80% (IdeaConsultora, 2012). De la producción nacional, el 75% de los duraznos en conserva y el 90% de la pulpa de duraznos, son exportados (IdeaConsultora, 2012).

En la temporada 2010/2011 se procesó un 65% de la capacidad potencial de las plantas de producción, por lo que se espera que el volumen de procesamiento crezca en los próximos años (IdeaConsultora, 2012).



2.4.1 CASO DE ESTUDIO: AGROFOODS CENTRAL VALLEY



Figura 12: Logo Agrofoods Central Valley (Agrofoods, 2016a).

Agrofoods es una de las principales empresas fabricantes de alimentos agroindustriales en Chile, la cual se especializa en envasar productos alimenticios de alta calidad para diversos clientes en el mundo. Pertenece al holding Massai Agricultural Services (Agrofoods, 2016c).

Esta empresa se conoce como el mayor fabricante y exportador de frutas en potes plásticos de Latino América. Los productos que constituyen esta categoría son: duraznos en cubos, pera en cubos, manzana en cubos y cocktail de frutas en envases plásticos. Además, fabrica productos enlatados como los duraznos en conserva, cóctel de frutas y arvejas en varios formatos (ver figura 11) (Agrofoods, 2016c).

Figura 11: Productos Agrofoods (Agrofoods, 2016b).

2.4.2 ATRIBUTOS DE SELECCIÓN DE RESIDUOS PARA UN MATERIAL COMPUESTO DE IMPACTO AMBIENTAL MÁS BAJO

Bajo los mismos criterios de sustentabilidad con los que se establecieron los atributos del material, se definieron los atributos que debe cumplir el residuo seleccionado, que sirva como componente de un material compuesto de impacto ambiental más bajo.

Los atributos se presentan en la tabla 2 clasificados según el origen del residuo, su comportamiento en un proceso productivo para un material compuesto, su comportamiento a largo plazo y su factibilidad de uso para la experimentación con él.

Tabla 2: Criterios de selección de residuo

	Atributos de selección de residuo
Origen del residuo	Genera un problema para la industria
	Existe un volumen necesario para asegurar la fabricación del producto
	No tiene otras aplicaciones o usos que compitan con el proceso que se pretende promover
Proceso productivo para generar el material	Es de composición lignocelulósica
	Se presenta limpio o de fácil y económica limpieza
	Se presenta seco o de fácil y económico secado
Posterior uso del material	Es estable, es decir, no se descompone fácilmente bajo condiciones ambientales del sitio donde se genera
	Es inocuo para la salud humana
Factibilidad de experimentación	Es accesible la obtención de muestras

Fuente: Elaboración propia basado en (Cervantes et al., 2009; Frosch & Gallpopoulos, 1989; ProChile, 2015; Saval, 2012; Wechsler, 2013).

2.4.3 EL CAROZO DE DURAZNO

EL DURAZNERO COMO ESPECIE

El duraznero es una de las especies frutales más populares que se cultivan en las zonas templadas de todo el mundo (Gratacós, s.f)

Prunus pérsica, es un árbol que pertenece a la familia de los Rosaceae y su género es *Prunus* (Arruabarrena et al., 2015).

Debido a su nombre, debiera creerse que es originario de Persia, actual Irán, pero existe literatura china del año 2000 A.C que describe las flores y frutos maduros del duraznero. Por lo que hoy, se considera que China es su país de origen (Gratacós, s.f).

En Chile fue introducido, en la época de la colonia, por los españoles, por lo que está fuertemente ligado a la historia agrícola nacional. El durazno fresco comenzó a exportarse a mediados del siglo XIX (Gratacós, s.f).

La especie presenta frutos del tipo drupa, que anatómicamente está compuesto por un pericarpio formado por tres capas, el exocarpo; comúnmente conocido como cáscara, el endocarpo; la parte fibrosa o carnosa y el endocarpo esclerificado; también denominado carozo, que envuelve a la semilla. (Chirinos Lozada, 1996).



Figura 13: Anatomía de *Prunus Persica* (euita.upv.es,

El endocarpo tiene como función proteger la semilla de los depredadores. De ahí es donde viene su composición dura. Tiene la propiedad de ser permeable al agua y al oxígeno, como parte de su función de dejar respirar a la semilla cuando cae del árbol en verano. La semilla presenta contenidos de cianuro, tóxico para la salud humana, pero en bajas concentraciones que no son perjudiciales (A. Molina, 2016).

Dentro de la especie, se distingue el durazno conservero, el cual posee un

menor contenido de jugo cuando está maduro. Es de tipo pavia, es decir, no debe tener coloración rojiza en la zona del carozo y es de pulpa más carnosa y firme (Gratacós, s.f).

Dentro de la industria de procesamiento de conservas, el carozo, es un residuo lignocelulósico y como tal, está compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción de estos componentes varía entre diferentes materiales lignocelulósicos (Balat, 2010).

CARBÓN ACTIVADO

Uno de los actuales y principales usos del carozo es utilizarlo como biomasa para la producción de energía a través de la gasificación. Debido a su valor energético y su bajo contenido de ceniza es altamente atractivo para este fin (Arvelakis, Gehrman, Beckmann, & Koukios, 2004).

Lo más común es usarlo de manera natural y sin tratamiento previo, pero esto genera dificultades de uso, almacenamiento y transporte. Existen estudios que han comenzado con el procesamiento de los carozos para transformarlos en briquetas. Esto se logra a través del granulado y prensado de elementos de los residuos, cuya humedad no sobrepasa el 15%, sin la necesidad de aglutinantes (Quiles et al., s.f).

BIOCOMBUSTIBLE

Utilizar el carozo de durazno para la producción de carbón activado es de sus usos no tan comunes en Chile. El carbón activado es un material carbonoso, obtenido a través de un proceso químico, a partir de diferentes materias primas y que le dan su capacidad de adsorción de partículas.

Es usado en procesos de purificación de agua y aire, en aplicaciones medicinales como desintoxicador, en la industria de la minería, en la decoloración y purificación de diferentes líquidos y bebestibles, en el tratamiento de aguas servidas, para la fabricación de filtros, entre otras.

El aumento de las exigencias respecto a la producción limpia ha contribuido al aumento de la demanda de este producto en los últimos años.

En Chile, actualmente existe una empresa que produce 500 toneladas de carbón activado fabricado a partir de carozos de durazno, llamada Petrochil S.A. Está ubicada en la VI región, representando el 33% del consumo interno de este producto en el país, siendo el resto importado.

El carbón activado fabricado a partir de carozos de fruta (coúmnmente durazno y damasco) o cáscaras de frutas (coco, maní y nuez) es de mejor calidad que el obtenido a partir de madera, lignito y carbón vegetal (Soto Paredes, 2007).

3.1.2 MATERIALES COMPUESTOS BASADOS EN CAROZOS DE DURAZNO

STONE FRUIT FLOORS

Carozo durazno, cola, resina y uretano

Piso fabricado en Sudáfrica, que consta de carozos de durazno y aglomerantes, trabajado a mano donde los carozos son expuestos. Es antideslizante, fácil de limpiar, resistente a la humedad, no deformable y resistente al escarabajo (StoneFruitFloors, 2015).



Figura 14: a. Superficie para baño Stone Fruit Floors. b. Piso Stone Fruit Floors (StoneFruitFloors, 2015).

HORMIGÓN MODIFICADO CON CAROZOS DE DURAZNO

Agua, cemento, arena,
carozos

Hormigón modificado, donde se reemplaza el árido grueso de una mezcla de hormigón tradicional por carozos de durazno. Este material fue desarrollado como investigación.

Es clasificado como un hormigón H5, por lo que es más liviano que el tradicional, pero resiste menor carga en compresión y tiene un alto porcentaje de absorción de humedad. El costo de confeccionar el hormigón modificado con carozos de durazno es mayor al tradicional.



Figura 15: a. Tamizado de carozos. b. Conformación del hormigón. c. Curado del hormigón. c. Ensayo de material (StoneFruitFloors, 2015).

3. MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos consisten en dos o más materiales que juntos actúan mejor que una de sus partes, es decir las propiedades del compuesto son mejores que las propiedades de cada componente (Baillie & Vanasupa, 2003).

El primer componente es llamado matriz y en él se encuentra incrustado el agente reforzante o relleno, que puede ser en forma de fibra o partícula. La adhesión entre relleno y matriz se denomina interfase. La fibra refuerza la matriz respondiendo a la carga aplicada a la matriz, la que es transferida a través de la interfase. La adhesión en la interfase determina cuan efectiva es la transmisión de la carga (Baillie & Vanasupa, 2003).

En otras palabras, la adhesión se define como *“...el estado en el que dos cuerpos diferentes se mantienen juntos gracias al contacto interfacial, de tal modo que la fuerza mecánica o trabajo puede ser transferido a lo largo de la interface. La fuerza interfacial que sostiene las dos fases juntas puede deberse a las fuerzas de van der Waals, unión química o atracción eléctrica. La fuerza mecánica del compuesto no está determinado solo por la fuerza interfacial, sino que también por las propiedades mecánicas de las dos fases”* (Wu, 1982).

La fibra, para responder a la carga, necesita ser más fuerte y rígida que la matriz. La matriz, para proteger a la fibra del ambiente y para darle tenacidad al material, necesita ser dúctil y resistente a la corrosión. Por esta razón, la fibra generalmente es cerámica y la matriz plástica. Las partículas y las fibras cortas no refuerzan la matriz, si no que actúan

como un relleno rigidizante para la matriz (Baillie & Vanasupa, 2003).

Los materiales compuestos, que contienen fibras son de naturaleza anisotrópica, es decir sus propiedades dependen de la dirección en la que son evaluadas y los materiales que contienen fibras cortas o partículas, son de naturaleza isotrópica; sus propiedades son iguales en todas sus direcciones (Baillie & Vanasupa, 2003).

3.1 SUSTENTABILIDAD Y MATERIALES

El desarrollo sustentable, abordado desde un enfoque de diseño, desarrollo y fabricación industrial, ha puesto esfuerzos en la disminución de los volúmenes de residuos, tanto industriales como municipales, para desarrollar productos desde un enfoque sustentable, aplicando estrategias basadas en el ecodiseño. (Briede & Alarcón, 2012).

Para llegar al diseño de productos sustentables, es necesario, previamente, desarrollar materiales sustentables, de manera que sean coherentes. Esto, como parte de una estrategia sistémica, que va más allá de medidas aisladas, donde se contempla la inclusión de valores y cualidades sustentables desde el proceso de ideación del producto, considerando todo su ciclo de vida, modelo expuesto en el libro “De la cuna a la cuna” (McDonough & Braungart, 2002).

Se entiende por material sustentable a *“Aquellos cuyo proceso de: extracción, manufactura, operación (uso) y disposición final, tienen un impacto ambiental bajo; que no comprometen durante su vida útil la calidad de vida de los seres vivos en*

contacto con ellos y que son capaces de demostrar mediante un análisis de ciclo de vida los impactos generados en el medio ambiente en cada una de las etapas de existencia de los mismos” (Madrid & Aguirre, 2013).

Se caracterizan por tener uno o más de los siguientes atributos:

- Optimización de procesos productivos
- Responsabilidad económica, social y ambiental
- Mayor durabilidad en el tiempo
- Menores requerimientos de mantenimiento

(Madrid & Aguirre, 2013)

La compañía italiana Matrec¹, clasifica los ecomateriales en dos grandes grupos, los naturales y los reciclados. Dentro de los naturales, se encuentran los materiales con componentes de abacá, bambú, cáñamo, papel, cereales, algodón, fruta, yute, kenaf, lana, madera, lino, seda, corcho y otros. Y dentro de los reciclados, se encuentran los materiales compuestos de bagazo, café, cáñamo, papel, cereales, coco, algodón, fruta, caucho, yute, lana, madera, metal, cuero, plástico, residuo textil, sorgo, corcho, vidrio, inerte y otros (Matrec, 2015).

¹ Compañía especializada en consultoría de materiales y productos sustentables, tendencias, escenarios de Mercado y productos innovadores ecoamigables. Además cuenta con una librería de ecomateriales actualizada y clasificada (Matrec, 2015).

3.1.1 EJEMPLOS DE MATERIALES BASADOS EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES HORTOFRUTÍCOLAS DISPONIBLES EN EL MERCADO

La utilización de residuos provenientes de frutas y hortalizas es la menos explorada en cuanto a investigación y desarrollo de materiales compuestos (Wechsler, 2013).

KIREI

Cáscara de coco

Empresa estadounidense, que se dedica a diseñar y comercializar materiales bonitos, sustentables y funcionales para que arquitectos innovadores y diseñadores de interiores diseñen espacios elegantes, creativos y productivos. Ejemplos de sus materiales es el Kirei Coco Tiles, fabricada a partir de cáscara de coco obtenida después de la cosecha y adhesivos de bajo o cero compuestos orgánicos volátiles (Kirei, 2016).



Figura 16: Aplicaciones Kirei Coco Tiles (Kirei, 2016).

POEMATEC

Cáscara de coco

La organización brasileira Poematec junto a POEMA, Poverty and environment in Amazonia, ha desarrollado productos a partir de los residuos agrícolas de fibras de coco, como bases de asientos para autos clase A Mercedes Benz y elementos de jardín (B2Brazil, 2015).



Figura 17: a. Bases de asientos para autos. b. Maceteros de jardín (B2Brazil, 2015).

AH!

La tienda chile AH! ha desarrollado un material biodegradable y compostable, a partir de fibra de bambú y resina de maíz (AH!, 2016).



Figura 18: Productos AH! (AH!, 2016).

DANIELLE TROFE

Tallos de maíz y cáscaras de semillas

Colección de maceteros biodegradables fabricados con un proceso patentado que utiliza el micelio del hongo como aglutinante de subproductos agrícolas, como tallos de maíz y cáscaras de semillas. Desarrollados en Estados Unidos (Danielle Trofe, 2016)



Figura 19: Maceteros Mush-bloom Standard Planters (Danielle Trofe, 2016).

HUSQUE

Cáscara de macadamia

Husque desarrolló contenedores hechos de cáscara de nuez de macadamia trituradas y mezcladas con un polímero. Desarrollado en Australia (Husque, 2016).



Figura 20: Contenedores Husque (Husque, 2016).

3.3 ADHESIVOS UTILIZADOS EN MATERIALES COMPUESTOS

Un adhesivo es un material que se aplica en las superficies para pegarlas permanentemente mediante un proceso de unión adhesiva. Su función principal de un adhesivo es mantener las partes unidas, transmitiendo la carga de un miembro al otro de manera uniforme (Ednesajjad, 2008).

En el caso de los materiales compuestos, el adhesivo es considerado la matriz, anteriormente descrita.

Los adhesivos se clasifican según diferentes criterios.

3.3.1 ADHESIVOS UTILIZADOS EN COMPUESTOS BASADOS EN MADERA

LOS ADHESIVOS Y LA MADERA

Los adhesivos han sido desarrollados en su mayor parte, gracias a la necesidad de pegar papel y madera. A pesar de esto, existen muchos aspectos fundamentales que aún no han sido estudiados.

A pesar de que los adhesivos mayormente usados en madera tienen diferentes aplicaciones (Frihart, 2005), se desarrollaron los usados en materiales compuestos.

La industria de los paneles de madera, como la madera contrachapada, los tableros de fibra orientada, los tableros de fibra y los tableros de partículas, es la más grande del mercado. En esta industria, excepto en la madera contrachapada, el adhesivo actúa pegando pequeños pedazos de

madera, formando una matriz. La resistencia mecánica del tablero depende de la distribución de la fuerza aplicada entre el adhesivo y la madera.

La mayoría de los adhesivos usados para pegar madera, tienen formaldehído como co-monómero, generando preocupación acerca de las emisiones de formaldehído (Frihart, 2005).

ADHESIVOS DE FORMALDEHÍDO

Los adhesivos más comunes para la madera son los basados en la reacción del formaldehído con fenol, resorcinol, urea, melamina o una mezcla de ellos. Los copolímeros de formaldehído son termoestables y generalmente son a base de agua por lo que su proceso de curado no es solo por polimerización, sino que también por pérdida de agua solvente (Frihart, 2005).

Son usados para la producción de la mayoría de laminados, uniones finger y productos compuestos, ya que proveen una buena adhesión de la madera y uniones rígidas (Frihart, 2005).

ISOCIANATOS

Muchos tipos de adhesivos usados en madera involucran los llamados isocianatos. Éstos son ampliamente usados debido a su reactividad con muchos tipos de polímeros. Esto les otorga gran flexibilidad en los tipos de productos que se pueden fabricar con ellos, aunque son mayormente usados para producir poliuretanos (Frihart, 2005).

Su alta reactividad es una ventaja y desventaja a la vez. La ventaja es que la polimerización es rápida y una de sus desventajas es que reacciona fácilmente con el agua presente en la mayoría de los productos de madera (Frihart, 2005).

Otra gran desventaja es que reaccionan rápidamente con componentes presentes en el cuerpo humano, por lo que se requieren de precauciones para su manipulación (Frihart, 2005).

Los adhesivos más comunes son de auto-curado de isocianato, que reaccionan con el agua en la madera para iniciar el proceso de curado (Frihart, 2005).

ADHESIVOS EPÓXICOS

Los adhesivos y revestimientos epóxicos son ampliamente usados debido a su buena resistencia a la intemperie y a su habilidad de pegar gran variedad de superficies, incluyendo madera, metal, plástico, cerámica y concreto. Son menos usadas en madera debido a que su costo es el más alto entre los adhesivos para maderas y su durabilidad es limitada. Por otro lado, son adhesivos estructurales que curan a temperatura ambiente, tienen buena capacidad para llenar agujeros y pegan muchas otras superficies, mientras que la mayoría de los adhesivos para madera requieren calor para curar, no

rellenan agujeros y no pegan otras superficies.

Polimerizan bajo la influencia de ácido o catalizados, que en su mayoría son aminos. A la parte epóxica se le denomina resina y a la parte que reticula la resina, endurecedor.

A pesar de que los epoxicos dan una unión fuerte y duradera en muchos sustratos, no dan resultados duraderos para la madera bajo todas las condiciones (Frihart, 2005).

ADHESIVOS VINÍLICOS / ACETATO DE POLIVINILO (PVA) Y ACETATO DE POLIETILENO VINÍLICO (EVA)

Estos adhesivos basados en agua, son muy usados en productos terminados de madera y papel, como en la construcción de muebles. No necesitan temperatura de curado, son fáciles de usar y de bajo costo. Después de aplicado, el agua se evapora y las cadenas del adhesivo se unen para formar una película.

El PVA es un polímero lineal, por lo que son muy flexibles, en contraste con los formaldehídos normalmente usados como adhesivos para madera.

Debido a que estos adhesivos no están curados pierden mucha resistencia en presencia de humedad. Una solución a este problema es convertir el PVA de termoplástico a termoestable mezclándolo con formaldehído o isocianatos. Los compuestos resultantes tienen alta resistencia a la humedad, altas temperaturas y a la carga mecánica, pero no son muy usados debido a que la mezcla debe ser hecha justo antes de la aplicación del adhesivo.

Por otro lado, el PVA es convertido en polivinil de alcohol (PVOH) mediante hidrolisis. Éste puede tener diferentes grados de hidrolisis y peso molecular

dependiendo de la aplicación (Frihart, 2005).

BIOADHESIVOS / ADHESIVOS BIOBASADOS

Los adhesivos biobasados más comunes son los basados en proteína. Los pegamentos de proteína han sido usados por cientos de años, desde las primeras civilizaciones se usaban para el pegado de madera, logrando uniones duraderas solo a bajos niveles de humedad. Se han ocupado muchas fuentes de donde obtener las proteínas, como huesos y cuero de animal, leche (caseína), sangre, piel de pescado y harina de soya. Los avances más grandes en estos adhesivos han sido en a partir del polvo de soya usado en el interior de la madera contrachapada, por ser un reemplazo de bajo costo.

Actualmente, la mayoría de los bioadhesivos han sido reemplazados por los sintéticos, debido a su costo, durabilidad y otras propiedades.

Árboles y arbustos, por sí solos, proveen materiales adhesivos, de los cuales muchos se han usado en el pegado de madera. Los adhesivos de taninos y lignina tienen un buen comportamiento en presencia de humedad y resisten bastante bien al ataque de microorganismos.

Los carbohidratos también han sido usados como adhesivos, pero no son muy útiles en el pegado de madera. El almidón es ampliamente usado en el pegado de papel, especialmente en la fabricación de cartón corrugado y muchas soluciones de packaginig (Frihart, 2005).

ADHESIVOS PARA MATERIALES COMPUESTOS

En ciertos compuestos, la cantidad de madera es menor que la cantidad de adhesivo. Hay tres tipos de materiales con esta proporción; los paneles de fibrocemento, la madera plástico y la

madera como relleno para plástico. En estos tres casos, una mejor adhesión entre el adhesivo y la fibra de madera, proporcionará un producto más fuerte y durable (Frihart, 2005).

Paneles de fibrocemento

Los paneles fibrocemento compiten con el los paneles de cemento tradicional, que usa otros materiales de refuerzos como la fibra de vidrio. El refuerzo sirve para reducir las fracturas en el panel. En la actualidad se estudia el refuerzo con fibras vegetales, pero el mercado es dominado por los paneles reforzados con fibra de vidrio (Frihart, 2005).

Madera plástico

El compuesto madera plástico es usado como reemplazo de la madera en aplicaciones de exterior. Los plásticos mayormente utilizados en este compuesto son el polietileno (PE) y polipropileno (PP).

Para lograr una buena adhesión, es necesario desarrollar una buena interacción entre la madera y el plástico de baja polaridad, ya que actualmente estos dos componentes presentan una gran diferencia de polaridad lo que dificulta el contacto molecular (Frihart, 2005).

Madera como relleno para plástico

Este material está hecho para asemejarse al plástico normal, pero el relleno de madera es usado para reemplazar parcialmente el relleno inorgánico para reducir el peso. Es usado en aplicaciones de automóviles. A pesar de que el plástico retrasa la absorción de agua por parte de la fibra, bajo condiciones de humedad, la fibra podría saturarse de agua e hincharse,

lo que añadiría una carga adicional en la interface (Frihart, 2005).

3.3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE AGLOMERANTE

Bajo los mismos criterios de sustentabilidad con que se establecieron los atributos del material desarrollado, se definieron los criterios para seleccionar el adhesivo que aglomere al carozo.

Los criterios se presentan en la tabla 3 clasificados según el origen del adhesivo,

sus requerimientos y comportamiento en un proceso productivo para un material compuesto, su comportamiento a largo plazo y su factibilidad de uso en la experimentación.

Tabla 3: Criterios de selección de aglomerante

Criterios de selección de aglomerantes	
Origen del adhesivo	Lugar de producción
Proceso productivo para generar el material	Temperatura de fusión o curado
	Liberación de gases en el proceso de producción
	Valor de 1 kg
Uso	Resistencia a la humedad
	Liberación de gases durante su uso
	Tiempo de vida útil
Posterior uso del material	Posibilidad de reciclaje
Factibilidad de experimentación	Accesible de muestras

Fuente: Elaboración propia basado en (Cervantes et al., 2009; Frosch & Gallpopoulos, 1989; ProChile, 2015; Wechsler, 2013).

3.4 EL COMPUESTO DE MADERA-PLÁSTICO

Se denomina compuesto de madera-plástico a cualquier compuesto que contenga madera (en cualquier formato) y polímero, ya sea termoplástico o termoestable. Sin embargo, comúnmente se llama compuesto de madera-plástico a aquellos que utilizan termoplásticos (Clemons, 2002).

En general, la madera tiende a aumentar la rigidez, la estabilidad térmica, la resistencia a los rayos UV y la trabajabilidad del compuesto. El termoplástico aporta con mayor resistencia a la humedad y características de termoformado (Wolcott, 2001).

Debido a la limitada estabilidad térmica de la madera, se utilizan solo termoplásticos que funden a menos de 200°C. Los más utilizados son el polietileno (PE), polipropileno (PP) y PVC. Los compuestos que usan PE; son usados para componentes de construcción exterior, los con PP; se utilizan para aplicaciones de automóviles, productos de consumo y para perfiles de construcción, los compuestos de madera-PVC son usados para marcos de ventana y elementos de decoración. La selección del polímero está basada en las propiedades del mismo, en los requerimientos de la aplicación, la disponibilidad, el costo y la familiaridad de manufactura que se tenga con el plástico (Clemons, 2002).

La madera usada en el compuesto de madera-plástico es mayormente usada como material particulado o fibras muy cortas. Generalmente se agrega un 50% de madera, pero hay compuestos que utilizan muy poca madera y otros hasta un 70%.

Las fibras de madera mayormente usadas son las de pino, arce, roble y la granulometría usada es entre los 10 y 80 mesh (Clemons, 2002).

Además de la madera y el plástico, suelen agregarse otros aditivos, para mejorar las condiciones de procesamiento o de rendimiento del compuesto resultante. Ejemplos son agentes acoplantes (entre la madera y el plástico), pigmentos, lubricantes, fungicidas y agentes espumantes (Clemons, 2002).

Generalmente se procesa en dos grandes etapas. En la primera, se mezcla la materia prima y en la segunda se transforma en un producto. El material mezclado puede ser directamente prensado o extruído o pueden fabricarse pellets para su posterior uso. Este compuesto se procesa generalmente como perfil extruído, pero también en moldes de inyección, termoformado en moldes por compresión (Clemons, 2002).

Para cualquier proceso, es necesario previamente extraer la humedad de la madera (Clemons, 2002).

Las propiedades del compuesto de madera-plástico dependen de los materiales constituyentes, la interacción entre esos materiales y el proceso. Debido a que absorbe menos humedad que la madera y lo hace más lento, es más resistente a los hongos y es más estable dimensionalmente en ambientes húmedos. Por otro lado, los termoplásticos se expanden cuando son expuestos al calor, por lo que agregarle madera, disminuye su expansión térmica (Clemons, 2002).

Comercialmente la madera-plástico es utilizada para productos de construcción de limitados requerimientos estructurales, como elementos decorativos, barandas,

cubiertas y reemplazando maderas de exterior (Clemons, 2002).

3.4.1 EL POLIPROPILENO COMO AGLOMERANTE

El polipropileno es un termoplástico, clasificado como poliolefina, que se utiliza para hacer envases para alimentos, capaces de ser lavados con agua caliente y calentados en microondas, ya que su temperatura de fusión es entre 165°C y 170°C. En su forma pura, este polímero es inflamable y se degrada con la luz solar, pero con aditivos, se pueden mejorar estas condiciones. Se le agregan retardantes al fuego y protección contra rayos UV (Ashby & Johnson, 2002).

El polipropileno tiene una densidad entre 890 y 920 kg/m³, es liviano, barato, rígido y puede utilizarse a altas temperaturas. Es excepcionalmente inerte y fácil de reciclar y puede incinerarse para obtener energía. Su proceso de producción es relativamente

eficiente energéticamente (Ashby & Johnson, 2002).

Presenta una elevada resistencia a los productos químicos y una alta resistencia a la absorción de humedad.

4. CONCLUSIÓN DE LA REVISIÓN DE LITERATURA

El objetivo de la revisión de literatura fue establecer un marco en relación al concepto de sustentabilidad y ecología industrial, que permitieran definir los atributos para un material compuesto de bajo impacto ambiental. Además describir la agroindustria chilena para poder identificar el residuo con potencial para su uso en un material compuesto. Y por último, describir los materiales compuestos para definir el modo de procesar el material compuesto diseñado en la fase experimental.

III METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN



El presente estudio apunta a desarrollar un material compuesto de bajo impacto ambiental basado en residuos de la industria de procesamiento de conservas para aplicaciones constructivas. Para esto se utilizan métodos tanto cualitativos como cuantitativos distribuidos en dos fases. Como se observa en la tabla 4, en la fase I, se realiza revisión de literatura, trabajo de campo, análisis microscópico,

determinación de densidad y humedad, análisis de distribución de tamaño de partículas y análisis de degradación del carozo a la intemperie, para cumplir con los objetivos 1 y 2. En la fase II, se conforma el material y se ensaya el material diseñado y se experimenta su mecanizado y moldeo, con el propósito de cumplir con los objetivos 3 y 4.

Tabla 4: Resumen metodología de investigación

OBJETIVO GENERAL		
Desarrollar un material compuesto de bajo impacto ambiental basado en los residuos de la agroindustria hortofrutícola chilena para aplicaciones constructivas.		
FASE	OBJETIVO ESPECÍFICO	Actividad
I Revisión de literatura, trabajo de campo y análisis del carozo	1. Reconocer y caracterizar el residuo agroindustrial hortofrutícola chileno con mayor potencial para ser usado como materia prima para el desarrollo de materiales compuestos de bajo impacto ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de literatura • Entrevista • Observación en terreno y solicitud de muestras • Análisis microscópico • Determinación de densidad y contenido de humedad • Análisis de distribución de tamaño de partículas • Análisis de degradación del carozo a la intemperie
	2. Seleccionar un aglomerante de bajo impacto ambiental adecuado para el desarrollo de un material compuesto de menor impacto ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de literatura • Análisis comparativo
II Experimental	3. Diseñar un material basado en el residuo y aglomerante seleccionados.	<ul style="list-style-type: none"> • Conformar el material
	4. Caracterizar el material diseñado en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas, de mecanizado, moldeabilidad y de envejecimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de material • Experimentación de mecanizado y moldeabilidad

Fuente: Elaboración propia.

1. FASE I

REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJO DE CAMPO

1.1 MÉTODOS OBJETIVO 1

“IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR UN RESIDUO AGROINDUSTRIAL HORTOFRUTÍCOLA CHILENO CON POTENCIAL PARA SER USADO COMO MATERIA PRIMA PARA EL DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL”

1.1.1 REVISIÓN DE LITERATURA

Para cumplir con el primer objetivo se realiza revisión de literatura que consiste en el levantamiento de información relevante en torno al tema de investigación a partir de fuentes primarias. Incluye todas las actividades de lectura, clasificación y análisis de artículos académicos, documentos gubernamentales, páginas web y libros, entre otros.

1.1.2 TRABAJO DE CAMPO

Para cumplir con el primer objetivo específico antes mencionado, también es necesario realizar trabajo de campo, a través de una entrevista a una planta de procesamiento de conservas, la observación en terreno y la solicitud de muestras.

La entrevista a la industria conservera, tiene como objetivo obtener información en cuanto a las cantidades, condiciones y disposición final que tienen los residuos

que genera el proceso productivo de la industria conservera. Para esto se utiliza un cuestionario (ver anexo 2).

Para la selección de la industria conservera se utilizó como criterios de selección:

Tabla 5: Criterios de selección de industria conservera

Criterios de selección de industria conservera
Que cuente con producción de diferentes productos.
Que sea cercana a la ciudad de Santiago.
Que acceda a responder la entrevista en su lugar de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de entrevista fue previamente aprobada por el comité ético de la facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile (Ver anexo 3). Además los entrevistados leyeron y firmaron un consentimiento informado (Ver anexo 3). Fue realizada a Juan Aburto, jefe técnico y Carolina Reyes, encargada de medioambiente y riles en su lugar de trabajo, en la planta de Agrofoods Central Valley, ubicada en la localidad de Malloa, VI región.

La observación en terreno y la solicitud de muestras tienen como objetivo conocer las condiciones en que se presenta el residuo, su composición y para ser usadas posteriormente en el diseño del material. La observación se hizo con cámara fotográfica.

1.1.3 ANÁLISIS MICROSCÓPICO

El análisis microscópico tiene como objetivo conocer la anatomía celular del carozo de durazno. Éste fue desarrollado en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad de Chile.

Para esto se realiza una muestra. En primer lugar se sumergen los carozos en agua por 10 minutos, posteriormente se cortan con un micrótopo marca Reichert (Ver figura 21). Una vez cortados, se depositan en un portaobjetos y se tiñen con safranina al 1% (Ver figura 22).

Finalmente las muestras son observadas y fotografiadas a través de un microscopio óptico binocular marca Intraco Micro en un aumento de 400X.



Figura 21: a. Carozos sumergidos en agua. b. Corte de carozo. c. Corte de carozo. Elaboración propia.



Figura 22: Muestra y microscopio óptico. Elaboración propia.

1.1.4 DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD

DENSIDAD

Se determinó la densidad del carozo calculando su volumen por el principio de Arquímedes y su peso en una balanza de precisión marca bajo la norma NCh 176/2.0f86 (INN, 1988).

Para ello se pesó una mitad de carozo de durazno, sin semilla, se impermeabilizó con esmalte acrílico y luego se sumergieron en un vaso precipitado.

Para calcular la densidad se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde ρ es la densidad, m la masa en gramos y v, el volumen obtenido por el principio de Arquímedes.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Se midió el contenido de humedad que tiene el carozo después de ser secado en estufa y estar 4 horas a la intemperie, con una termobalanza marca Precisa.



Figura 23:
Termobalanza
marca Precisa.
Elaboración
propia.

1.1.5 ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS

El carozo utilizado en toda la fase de experimentación fue enviado por la empresa Agrofoods Central Valley, VI región, al Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío Bío, VIII región, donde se hizo este análisis.

Para describir el tamaño y la cantidad de partículas que resultan del proceso de triturado con un molino marca Ming Lee, se midió de la distribución del tamaño de partículas del material obtenido luego de la trituración.

En primer lugar se pesaron 300 g del material molido y luego se tamizaron en un tamizador marca Fritsch durante 15 minutos. El tamizador cuenta con cuatro tamices, de 10 mesh (2 mm o 2.000 micrones), 40 mesh (0,42 mm o 420 micrones), 60 mesh (0,25 mm o 250 micrones) y 100 mesh (0.149 mm o 149 micrones).

Finalmente se pesó el material que queda en cada tamiz y se describe su porcentaje en relación a la masa total original.



Figura 24:
Tamizador
marca Fritsch.
Elaboración
propia.

1.1.6 ANÁLISIS DE DEGRADACIÓN DEL CAROZO A LA INTEMPERIE

Se depositan cuatro carozos enteros (cerrados) y dos mitades sobre tierra en un recipiente plástico y se dejan a la intemperie por 17 semanas, entre los meses de mayo y septiembre. Se lleva registro fotográfico una vez por semana. Luego de pasado este tiempo, se observan las diferencias en cuanto a peso, morfología, color, olor y textura.



Figura 25: Carozos recién dispuestos a la intemperie. Elaboración propia.

1.2 MÉTODOS OBJETIVO 2

SELECCIONAR UN AGLOMERANTE DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL ADECUADO PARA EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO.

Para cumplir con el segundo objetivo específico, se realizó revisión de literatura de los principales aglomerantes apropiados para un material lignocelulósico como el carozo de durazno. Para seleccionar el aglomerante más adecuado para la fase de experimentación, se evaluaron los aglomerantes con una matriz de valoración basada en los criterios de sustentabilidad expuestos en la revisión de literatura.

La matriz de valoración se muestra en la tabla 6, donde en la tercera columna los

criterios son categorizados en variables y en la cuarta columna se les asigna el valor 0 ó 1, donde 0 es la opción menos favorable para un material compuesto de bajo impacto ambiental y 1 la más favorable.

De cada tipo de aglomerante descrito en la revisión de literatura, se seleccionaron uno o más aglomerantes, los cuales fueron evaluados según las variables de la matriz de valoración.

Tabla 6: Matriz de valoración de criterios de selección de aglomerante de bajo impacto para un material compuesto de menor impacto ambiental.

	Criterios de selección del aglomerante	Variables	Valoración
Origen del adhesivo	Lugar de producción	Chile	1
		Otro país	0
Proceso productivo para generar el material	Temperatura de fusión o curado	Menor o igual a 190°C	1
		Mayor que 190°C	0
	Liberación de gases en el proceso de producción	Libera gases	0
		No libera gases	1
Precio de 1 kg	Menor o igual a a 1.000 CLP	1	
	Mayor a 1.000 CLP	0	
Uso	Resistencia a la humedad	Es resistente a la humedad	1
		No es resistente a la humedad	0
	Liberación de gases durante su uso	Libera gases durante su uso	0
		No libera gases durante su uso	1
Posterior uso del material	Posibilidad de reciclaje	Es posible	1
		No es posible	0
Factibilidad de experimentación	Accesibilidad de muestras	Es accesible la obtención de muestras	1
		No es accesible la obtención de muestras	0

Fuente: Elaboración propia basado en (Ayres, 1989; Cervantes et al., 2009; Frosch & Gallpopoulos, 1989).

2. FASE II

EXPERIMENTACIÓN

A continuación se detallan los métodos de la fase experimental de esta investigación, es decir, las actividades realizadas para cumplir con los objetivos 3 y 4; de diseño del material y su caracterización.

Como se muestra en la figura 25, esta fase fue llevada a cabo en dos etapas. La primera, etapa A, aborda métodos

manuales y artesanales y la etapa B, llevada a cabo posteriormente, con tecnología de laboratorio, realizada en el Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío Bío en la VIII región, donde también se realizaron los ensayos físicos y mecánicos.



Figura 26: Diagrama de experimentación. Elaboración propia.

2.1 MÉTODOS OBJETIVO 3

DISEÑAR UN MATERIAL BASADO EN EL RESIDUO Y AGLOMERANTE IDENTIFICADOS.

Para cumplir con el tercer objetivo específico, se explora la factibilidad de fabricar un material compuesto con el residuo y aglomerante seleccionados. Se usó de referencia los métodos de elaboración del compuesto de madera-plástico encontrados por revisión de literatura de estudios previos.

ETAPA A

2.1.1 PREPARACIÓN DEL CAROZO: SECADO, TRITURADO Y TAMIZADO

SECADO

Se secaron carozos enteros, en mitades y triturados en horno convencional a 100 °C por 30 minutos (ASTM, 1999).



Figura 27: a. Carozos enteros y en mitades en horno. b. Carozos triturados en horno. Elaboración propia.

TRITURADO

Se Trituraron con un molinillo manual (ver figura 28a) y posteriormente con una licuadora convencional (ver figura 29b).



Figura 28: a. Molinillo manual. b. Licuadora convencional. Elaboración propia.

TAMIZADO

Posteriormente a la trituración de los carozos, se tamizan con coladores de uso doméstico, equivalentes a aproximadamente 15 y 5 mesh.



Figura 29: Coladores de uso doméstico. Elaboración propia.

2.1.2 MEZCLADO DE LOS COMPONENTES DEL MATERIAL

2.1.2.1 PREMEZCLADO

En esta etapa se utilizó el carozo triturado a 15 mesh obtenido de la licuadora utilizada en la etapa A y polipropileno obtenido de envases de uso doméstico cortados con tijera. Para la mezcla se utilizó una proporción de 50% carozo y 50% polipropileno (Oyarzún, Ballerini, Gacitúa, & Ribera, 2002).



Figura 30: a. Pesado de carozo triturado a 15 mesh. b. Pesado de polipropileno. Elaboración propia.

2.1.2.2 PROCESAMIENTO DE LA MEZCLA

La mezcla obtenida del proceso de mezclado A se vertió dentro de un marco de 120 x 120 x 3 mm y entre una dos planchas de aglomerado forrado en papel aluminio y se calentó en horno a 170 por 1 h.



Figura 31: a. Mezcla en molde. b. Molde prensado. Elaboración propia.

Se agregó carozo de durazno triturado a polipropileno previamente derretido en un sartén de cerámica y luego se vertió en molde de aluminio.



Figura 32: a. Polipropileno derretido. b. Mezcla en molde. Elaboración propia.

Los métodos utilizados no son suficientes para continuar con la experimentación de conformado del material, ya que no se obtienen buenos resultados. Se evidencia la necesidad de procesar este material con equipamiento de mayor tecnología.

ETAPA B

2.1.3 PREPARACIÓN DEL CAROZO: SECADO, TRITURADO Y TAMIZADO

SECADO

Se secaron 32 kg de carozos a 50°C en una estufa de secado marca Binder, por 60 horas.



Figura 33: Carozos enteros en estufa de secado. Elaboración propia.

TRITURADO

Posteriormente se trituraron en un molino de cuchillos marca Ming Lee modelo ML-SC con un tamiz de 10 mesh, que equivale a 0,47 mm y el material particulado fue secado nuevamente en estufa de secado a 103°C por 24 h (ASTM, 1999; Ayrilmis, Buyuksari, & Dundar, 2010).

Se decide utilizar todo el material obtenido del molino, debido a que la mayor concentración de partículas se encuentra entre 10 y 40 mesh.



Figura 34: Molino de cuchillos. Elaboración propia.

2.1.4 MEZCLADO DE LOS COMPONENTES DEL MATERIAL

Para la etapa B, el polímero utilizado fue polipropileno virgen, proporcionado por la empresa productora de polipropileno Petroquím, ubicada en Hualpén, VIII región. El código del polímero utilizado es PH 0322 el cual está diseñado para procesos de extrusión de rafia de alta velocidad (Ver anexo 4) (Petroquim, 2016).

2.1.4.1 PREMEZCLADO

Se elaboran dos muestras. Una de 50% de carozo y 50% polipropileno (Oyarzún et al., 2002) denominada CD1 y una de 60% carozo y 40% polipropileno (Ayrilmis et al., 2010), denominada CD2. Debido a que el tamaño de la mayoría de las partículas son las de mayor tamaño, entre 10 y 40 mesh, las partículas de carozo utilizadas son usadas en su totalidad, es decir, el resultado obtenido del molino de cuchillos en la etapa B, desde 10 mesh.



Figura 35: a. Muestra CD1 premezclada.
b. Muestra CD2 premezclada.
Elaboración propia.

Tabla 7: muestras del material

Muestra	Cantidad de carozo de durazno (%)	Cantidad de polipropileno (%)
CD1	50	50
CD2	60	40
PP	0	100

Fuente: Elaboración propia.

Para la muestra CD1, se mezclaron manualmente 10 kg de partículas de carozo de durazno secas con 10 kg de polipropileno en pellets y para la CD2, 12 kg de partículas de carozo y 8 kg de polipropileno en pellets.

2.1.4.2 PROCESAMIENTO DE LA MEZCLA, PELLETIZADO

Para ambas muestras el procedimiento de mezclado se hace a través de una extrusora marca Cincinnati modelo TC35, donde se alimenta con la muestra y se extruye con un perfil rectangular de 50 x 5 mm. La extrusora se programa a 180°C (Ayrilmis et al., 2010), promedio entre sus componentes y a una velocidad de 10 rpm. Una vez que sale por la boquilla, se recibe en una superficie, donde se deja enfriar y se corta.

Posteriormente los perfiles cortados, se trituran en el molino de cuchillos para obtener los pellets del material, con un tamiz de 10 mesh.



Figura 36: a. Muestra en zona de alimentación de extrusora. b. Perfiles obtenidos. c. Perfiles cortados. Elaboración propia.



Figura 37: a. Pellet de la muestra CD1; b. Pellets de la muestra CD2. Elaboración propia.

2.1.5 CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

2.1.5.1 PRENSADO

Los pellets de las muestras CD1 y CD2 fueron prensados en prensas hidráulicas de platos calientes. Una de ellas marca Dumont modelo 250T, de platos de 600 x 600 mm (ver figura 38a) y la otra con sistema de enfriamiento incorporado marca HP, con platos de 200 x 200 mm (ver figura 38b).

Las muestras fueron prensadas dentro de marcos metálicos, para mantener las dimensiones deseadas y entre dos láminas metálicas para evitar que el material se pegue a los platos de la prensa. Los marcos utilizados en la prensa marca Dumont tienen una dimensión interior de 300 x 300 x 10 mm y 450 x 450 x 10 mm y el utilizado en la de marca HP, de 170 x 190 x 3 mm.



Tabla 8: Resumen de uso de la prensa

Prensa	Prensa de platos calientes Dumont modelo 250T	Prensa de platos calientes marca HP con sistema de enfriamiento
Marcos	450 x 450 x 10 mm 	 170 x 190 x 3 mm
Uso	Tableros para continuar con la experimentación.	Láminas para ensayos físicos y mecánicos del material.

Figura 38: a. Prensa de platos calientes marca Dumont. b. Prensa de platos caliente marca HP, con sistema de enfriamiento incorporados. Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

Lo tableros obtenidos de la prensa Dumont fueron prensados con tres métodos de prensado, el método tradicional y dos adaptaciones al método tradicional, denominados A y B. Las láminas obtenidas de la prensa HP, con sistema de enfriamiento incorporado, fueron prensadas a 175°C por 10 minutos y el proceso de enfriamiento es de 30 minutos, hasta que los platos están a 50°C.

Después de cada proceso de prensado, independiente del método, se observó el tablero obtenido en base a criterios de observación y de acuerdo a ellas se modificaron las variables (ver tabla 9, 10 y 11). Los criterios a observar fueron uniformidad superficial, cohesión interna, color, olor, entre otros.

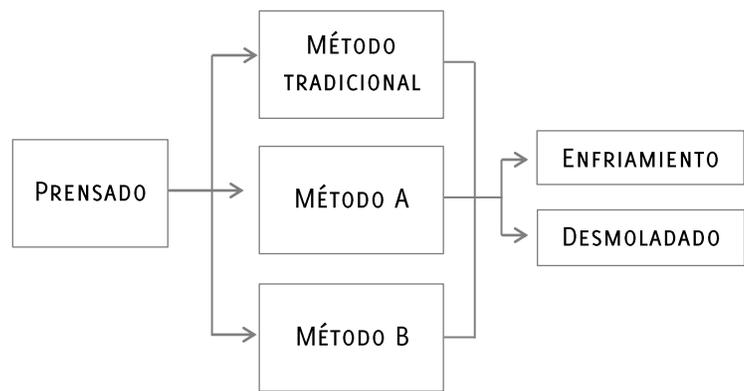


Figura 39: Esquema de proceso de prensado. Elaboración propia.

Método tradicional

Consiste en calentar la prensa a la temperatura deseada, luego poner la muestra dentro del marco y entre las dos láminas metálicas, prensar por un tiempo determinado, luego desprensar y sacar el tablero dentro del marco y entre las láminas para dejar enfriar fuera. Las variables utilizadas en este método fueron la muestra, la dimensión del marco, la temperatura y el tiempo (ver tabla 10).

Tabla 9: Variables de experimentación en método de prensado tradicional

	Variable	
Tablero	Muestra	CD1
		CD2
	Marco	300x300x10
		450x450x10
Prensa	Temperatura	172°C
		175°C
		180°C
	Tiempo	10 min
		30 min

Fuente: Elaboración propia.

* La cantidad de muestra depende del marco. Se calcula la cantidad para obtener una densidad aproximada a 1000 kg/m³.

* La presión se mantiene constante a 10 bar.

Método de prensado A

Se calienta la prensa, se deposita la muestra en el marco con las láminas entre los platos de la prensa, estando en contacto la lámina superior con el plato superior por un tiempo determinado y finalmente se prensa a la menor temperatura y máximo tiempo que permite la prensa, 50°C. La presión se mantiene en 10 bar (ver figura 40). Esto para dejar salir los gases que se liberan y que cuando esté prensando se liberen menos y no se sople.



Figura 40: Prensa Dumont calentando sin prensar. Elaboración propia.

Tabla 10: Variables de experimentación en método de prensado A

	Variable	
Variables de tablero	Muestra	CD2
	Marco	450x450x10
Variables de calentado	Temperatura	175°C
	Tiempo	10 min
Variables de Prensado	Temperatura inicial	50°C
	Tiempo	60 min

Fuente: Elaboración propia.



Figura 41: Prensa Dumont con plato inferior fijado con listones. Elaboración propia.



Figura 42: Tablero enfriándose con peso. Elaboración propia.



Figura 43: Desmoldado con espátula.

Método de prensado B

Se inicia con el método tradicional. Una vez la prensa está ejerciendo presión, se fija el plato inferior con listones de madera (ver figura 41) se apagan los calefactores de la prensa y se deja enfriar por un tiempo determinado. Las variables utilizadas en este método fueron la muestra y el tiempo de prensado en frío (ver tabla 12).

Tabla 11: Variables de experimentación en método de prensado B

		Variable	
Variables de tablero	de Muestra		CD1 reciclado
			CD2 reciclado
	Marco		450x450x10
Variables de prensado	de Temperatura inicial		175°C
	Tiempo		10 min
Variables de prensado en frío	de Tiempo		3 hrs
			3 hrs

ente: elaboración propia.

Enfriamiento

Una vez terminado el tiempo de prensa, se saca el tablero junto al marco y las láminas metálicas y se deja enfriar en el suelo con un peso de 8 kg aproximadamente. Esto se hace luego de los tres métodos de prensado (ver figura 42).

Desmoldado

Para desmoldar los tableros del marco, se utiliza una espátula de aluminio (ver figura 43).

2.1.5.2 EXTRUÍDO

Se obtienen perfiles de 50 x 5 x 1500 mm de la muestra CD2 a través de la extrusora marca Cincinnati Milacron modelo TC35. La extrusora se utiliza con una bomba de vacío la cual extrae de la cámara, donde se funde el material, los gases liberados por la muestra. Se programa la extrusora a 175°C, promedio entre sus componentes y a una velocidad de 10 rpm. Una vez que salen los listones por la boquilla se cortan con una espátula de aluminio a 1500 mm aproximadamente.



Figura 44: Extrusión de mezcla CD2. Elaboración propia.

2.2 MÉTODOS OBJETIVO 4

“CARACTERIZAR EL MATERIAL DISEÑADO EN CUANTO A SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, DE MECANIZADO, MOLDEABILIDAD Y ENVEJECIMIENTO”

Para cumplir con el cuarto objetivo, se realizan ensayos físicos, mecánicos, pruebas de mecanizado, de moldeabilidad y envejecimiento a la intemperie y se compara con la madera plástico-tradicional, encontrada en revisión bibliográfica, compuesta de polipropileno y madera de pino radiata, en proporción 60% madera y 40% polipropileno. Los resultados de los ensayos fueron analizados estadísticamente bajo un análisis Anova por medio del software Graphpad Prism 7.

2.2.1 ENSAYOS DEL MATERIAL

Se ensayó el material obtenido de la prensa HP. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos. Entre los físicos se ejecutó ensayo de perfil de densidad, contenido de humedad, absorción de humedad e hinchamiento y entre los mecánicos, se realizaron de tracción y flexión. Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío Bío, VIII región.

Tabla 12: Ensayos físicos y mecánicos aplicados al material desarrollado

Ensayos	
Físicos	Densidad
	Contenido de humedad
	Absorción de agua
	Hinchamiento
Mecánicos	Flexión
	Tracción

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1 ENSAYOS FÍSICOS



Figura 45: Perfilómetro marca Ludlum modelo 44-77. Elaboración propia.

DENSIDAD

Se determinó el perfil de densidad vertical con un perfilómetro marca Ludlum modelo 44-17, el cual mide la densidad cada 0,1 mm por el espesor de la probeta. Se utilizaron probetas de 50 X 50 X 3 mm.

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad al momento de realizar el ensayo afecta en las propiedades físicas y mecánicas del material (ASTM, 1999).

El contenido de humedad fue determinado de acuerdo a la norma ASTM 1037-99, Norma de método de prueba para evaluar propiedades de materiales basados en fibra de madera y tableros de partículas (ASTM, 1999). Se utilizaron probetas de 50 X 50 X 3 mm. Este porcentaje fue determinado midiendo el peso perdido luego de que las probetas estuvieran por 24 horas a 103°C en una estufa de secado, de acuerdo a la siguiente ecuación (ASTM, 1999). La medición se hizo luego de que las probetas estuvieran 24 h en una habitación cerrada.

$$\text{PORCENTAJE DE CONTENIDO DE HUMEDAD} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100$$

Donde W1 es el peso inicial de la probeta y W2 es el peso de la probeta luego de ser secada por 24 h a 103°C.

ABSORCIÓN DE HUMEDAD

La determinación de la absorción de humedad del material fue determinada a través de un método basado en ASTM 1037-99 (Norma de método de prueba para evaluar propiedades de materiales

basados en fibra de madera y tableros de partículas). Se utilizaron probetas de 50 X 50 X 3 mm y se midió a las 2 y 24 horas.

La absorción de humedad está determinada por la siguiente ecuación (ASTM, 1999).

$$\begin{array}{l} \text{PORCENTAJE DE} \\ \text{ABSORCIÓN DE} \\ \text{HUMEDAD} \end{array} = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

Donde W2 es el peso de la probeta después de sumergirla y W1 es el peso inicial de la probeta, antes de sumergirla.

HINCHAMIENTO

La determinación de hinchamiento del material fue determinado a través de un método basado en ASTM 1037-99, Norma de método de prueba para evaluar propiedades de materiales basados en fibra de madera y tableros de partículas (ASTM, 1999). Se utilizaron probetas de 50 X 50 X 3 mm y se midió a las 2 y 24 horas.

El porcentaje de hinchamiento está determinado por la siguiente ecuación (ASTM, 1999).

$$\begin{array}{l} \text{PORCENTAJE DE} \\ \text{HINCHAMIENTO} \end{array} = \frac{X2 - X1}{X1} \times 100$$

Donde X2 es el espesor de la probeta después de sumergirla y W1 es el espesor inicial de la probeta, antes de sumergirla.

2.2.1.2 ENSAYOS MECÁNICOS



ENSAYO DE FLEXIÓN

Se realizó ensayo de flexión de tres puntos bajo la norma ASTM D790-02, Norma de método de prueba para propiedades de flexión de polímeros reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos (ASTM, 2002a). El ensayo se realizó con un equipo de ensayos mecánicos universales marca Instron modelo 4468. La velocidad de ensayo fue de 1.45 mm/min y la luz (distancia entre los dos puntos de apoyo inferiores) de 54,4 mm. Se utilizaron cinco probetas de 100 x 20 x 3 mm (ASTM, 2002a).

Se calculó el esfuerzo de fluencia en flexión y el módulo de elasticidad de cada muestra.

Para calcular esfuerzo de fluencia se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{3(P \times L)}{2(b \times d^2)}$$

Donde σ_f es el esfuerzo de fluencia en flexión, P la carga de fluencia, L la luz o distancia entre los dos puntos de apoyo inferiores, b el ancho de la probeta y d el espesor de ella.



Figura 46: a. Probeta durante el ensayo de flexión. b. Probetas antes de ser ensayadas. Elaboración propia.

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

$$MOE = \frac{L^3 m}{4 b \times d^3}$$

Donde MOE es el módulo elástico, L la luz o distancia entre los puntos de apoyo inferiores, m la pendiente de la zona elástica de la curva del gráfico carga/estiramiento, b el ancho de la probeta y d el espesor de ella.



ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción fue realizado bajo la norma ASTM D 638-02a, Norma de método de prueba para propiedades de tracción en plásticos (ASTM, 2002b). Se utilizaron cinco probetas con forma de hueso de perro, con un largo total de 183, ancho interno de 6 y espesor de 3 mm. Las probetas fueron cortadas con máquina router cnc como se muestra en la figura 47a. El ensayo se realizó con un equipo de ensayos mecánicos universales marca Instron modelo 4468. La velocidad de ensayo fue de 5 mm/min.

Se calculó el esfuerzo de fluencia en tracción y la resistencia a la tracción de cada muestra.

Para calcular esfuerzo de fluencia se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{P}{b \times d}$$

Donde σ_f es el esfuerzo de fluencia en tracción, P la carga de fluencia, b el ancho de la probeta y d el espesor de ella.



Figura 47: a. Corte de probetas con router CNC. b. Probeta durante el ensayo de tracción. c. Probetas antes de ser ensayadas. Elaboración propia.



Figura 48: a. Corte en sierra de banco. b. Probetas cortadas en sierra de banco. Elaboración propia.



Figura 49: Lijado de probeta en esmeril de banco. Elaboración propia.



Figura 50: Perforado de probeta con taladro de pedestal. Elaboración propia.

2.2.2 PRUEBAS DE MECANIZADO

Se realizaron pruebas de mecanizado basados en los métodos expuestos en ASTM D 1666-11, Norma de método de prueba para la realización de pruebas de mecanizado en madera y materiales de paneles basados en madera (ASTM, 2011).

Posteriormente se evalúan cualitativamente según los criterios de astillamiento y marcas de la herramienta en el material.

2.2.2.1 CORTE

Se realizaron cortes con sierra de banco, utilizando una sierra de 250 mm de diámetro y 40 dientes, a una velocidad de. Se utilizaron cortaron 5 probetas de 85 x 85 x 10 mm.

2.2.2.2 Lijado

Se lijaron probetas de 800 x 200 x 10 mm, con esmeril de banco, con lija de grano número 80.

2.2.2.3 PERFORADO

Se perforaron 10 veces una probeta de 100 x 150 x 10 mm por muestra, con taladro de pedestal marca BMI a 870 rpm con broca número 7.

2.2.3 PRUEBAS DE MOLDEABILIDAD POR CALOR

Se exploró el curvado del material obtenido del proceso de prensado, mediante su ablandamiento por calor y posterior compresión en molde. Se utilizaron como fuente de calor un horno convencional y planchas calientes.

Se exploraron formas de simple y doble curvatura.

2.2.3.1 FUENTE DE CALOR: HORNO CONVENCIONAL

El material se calentó en horno convencional a aproximadamente 170°C, envuelto en papel aluminio y luego se depositó en un molde de MDF de simple curvatura.



2.2.3.2 FUENTE DE CALOR: PLANCHAS CALIENTES

El material se calentó entre dos planchas a aproximadamente 160°C, envuelto en papel aluminio, entre papel mantequilla y láminas de silicona y luego se depositó en un molde de MDF de simple y doble curvatura.



Figura 51: a. Molde simple curvatura. b. Molde doble curvatura. Elaboración propia.

2.2.4 PRUEBA DE ENVEJECIMIENTO DEL MATERIAL

Se depositaron ocho probetas, sobre tierra en un recipiente plástico (ver figura 52) y se dejan a la intemperie por 4 semanas, entre los meses de agosto y septiembre. Se lleva registro fotográfico una vez por semana.

Como se muestra en la tabla 13, se dispuso de una probeta cortada por cada muestra, una probeta cortada y lijada por una cara por cada muestra, una probeta cortada y lijada por las dos caras por cada muestra y una probeta obtenida del proceso de extrusión, una cortada y una cortada y lijada por una cara.

Los materiales lignocelulósicos como el carozo de durazno absorben humedad y se degradan a la intemperie.



Figura 52: Probetas a la intemperie. Elaboración propia.

Al lijar las caras de las probetas, el carozo queda expuesto al ambiente, por lo que a medida que tiene mayor superficie expuesta, la probeta está menos protegida por el polipropileno.

Tabla 13: Probetas para prueba de envejecimiento a la intemperie

Probeta	Muestra	Proceso	Descripción
1	CD1	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora.
2	CD2	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora.
1x	CD1	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora y lijada por una cara.
2x	CD2	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora y lijada por una cara.
1L	CD1	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora y lijada por dos cara.
2L	CD2	Tablero prensado	Cortada con ingleteadora y lijada por una cara. lijada por dos cara.
E1	CD1	Perfil extruído	Cortada con ingleteadora.
E2	CD2	Perfil extruído	Cortada con ingleteadora y lijada por una cara.

Fuente: Elaboración propia.



IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente apartado, se presentan los resultados obtenidos en las actividades descritas en el apartado de metodología, que responden a los cuatro objetivos específicos.

1. IDENTIFICACIÓN DEL RESIDUO

1.1 RESULTADOS DE LA ENTREVISTA A AGROFOODS CENTRAL VALLEY

Agrofoods cuenta con un planta de producción en la VI región, donde su producción anual estimada de materia prima es de 30.000 toneladas, es decir, aproximadamente el 11,5% de la producción nacional (Aburto & Reyes, 2015; IdeaConsultora, 2012). Como se observa en la figura 13, aproximadamente el 80% corresponde a procesamiento de durazno, un 15% a pera y manzana y el 5% restante a frutilla, arveja, pasta de tomate, damasco, entre otros (Aburto & Reyes, 2015). Es decir, Agrofoods procesa 24.000 toneladas de durazno al año.

Entre las variedades de durazno que procesa Agrofoods se encuentran:

Tabla 14: Porcentajes de variedades procesados en la planta de Agrofoods.

Variiedad	Porcentaje (%)
Carson	21.4
Andross	16.1
Dr. Davis	13.8
Ross Peach	8.8
Loadel	6.4
Pomona	5.9
Bowen	4.3
Kakama	4.0
Hesse	3.9
Everest	3.7
Klampt	2.6
Toscana	2.5
Starn	1.7
Rizzi	1.4
Dixon	1.0
Corona	0.8
Romana	0.8
Phillips Cling	0.4
Jungerman	0.2

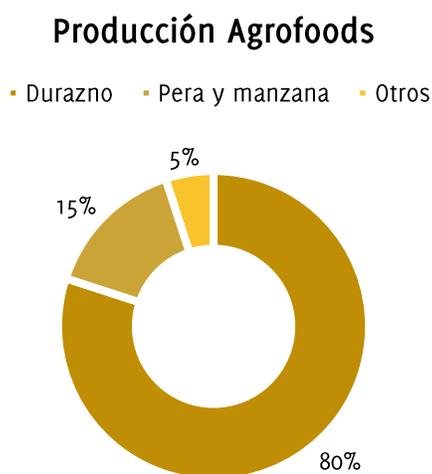


Figura 53: Gráfico de producción Agrofoods. Elaboración propia basado en (Aburto & Reyes, 2015).

Fuente: Elaboración propia basado en (Aburto & Reyes, 2015).

El proceso productivo del durazno, genera residuos tanto sólidos como líquidos. Entre los residuos líquidos se encuentran los fluidos resultantes de los procesos de lavado, tanto de la materia prima como de las máquinas de producción. Está compuesto en su mayoría por agua además de sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta (ver figura 54). Es probable que también contengan pesticidas, insectos, lechada soluble, jugos provenientes de la materia prima, hojas, tallos y otras partes de las plantas (CONAMA, 1998).

Entre los sólidos se encuentra la fruta de descarte, el denominado material orgánico y el carozo (ver figura 54). La fruta entera descartada se selecciona en la etapa de inspección y selección, antes de entrar al proceso productivo. El material orgánico está compuesto por la cáscara procedente del proceso de pelado químico, el durazno crudo o recocado, procedente de la etapa de escaldado y los trozos que se caen de la línea que provienen del transporte de los duraznos entre las distintas etapas. Todos estos residuos se presentan con un alto porcentaje de humedad, aproximado al 70%-80%. Finalmente el carozo, proveniente de la etapa de descarozado, el cual se presenta a simple vista húmedo (ver anexo 1) (Aburto & Reyes, 2015).

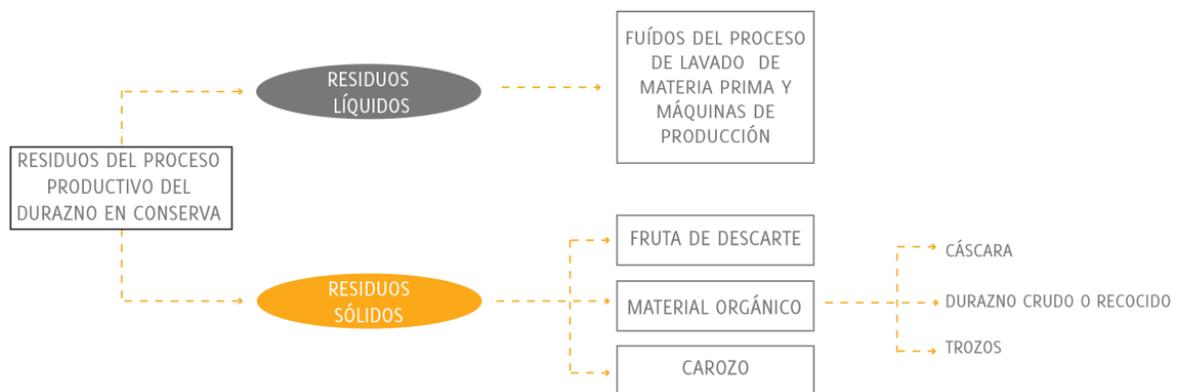


Figura 54: Residuos del proceso productivo del durazno en conserva. Elaboración propia basado en (Aburto & Reyes, 2015).

Por resolución sanitaria, el material orgánico que se genera en la zona de producción, debe estar fuera, en el patio de almacenamiento de residuos en menos de 8 horas. Para esto el departamento de aseo de la empresa acumula los residuos en bins, los cuales son transportados con grúa horquilla al patio de almacenamiento, donde son vertidos en tolvas de camiones para poder ser transportados al relleno sanitario (Aburto & Reyes, 2015).

El transporte del material orgánico al relleno sanitario está a cargo de una empresa de transportes externa. Para ello Agrofoods desembolsa aproximadamente 43.200.000 CLP por temporada. Este costo es tan elevado debido a que el relleno sanitario autorizado más cercano se encuentra en la región metropolitana.

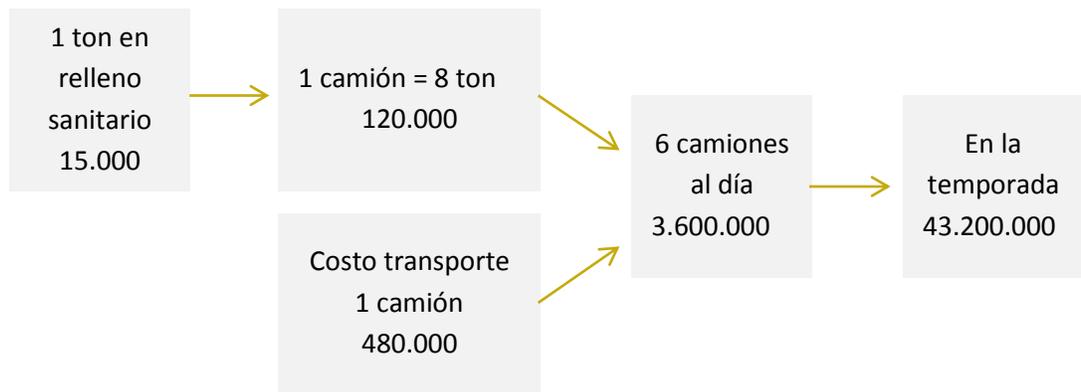


Figura 55: Cálculo de gastos por gestión de residuos en Agrofoods. Elaboración propia.

* Considerando que el costo de transporte es un 80% del gasto de disposición de residuos total y que la temporada se considera de tres meses, con funcionamiento de lunes a sábado.

El tema de disposición del material orgánico genera un gran problema a Agrofoods.

La fruta de descarte, es decir, sobre o sub calibrada para que entre en la línea productiva, es vendida para otros procesos productivos, como para procesamiento de jugos, por ejemplo y si esta está en malas condiciones es enviada a relleno sanitario junto con la materia orgánica (Aburto & Reyes, 2015).

El carozo, es transportado desde la cadena de producción hasta un lugar apartado del patio de residuos mediante agua. Este residuo lignocelulósico en el mejor de los casos es regalado bajo ciertas condiciones para la obtención de energía a través de su incineración en calderas de biomasa o para su uso en la producción de carbón activado (costo de transporte asumido por el destinatario), pero esto no es constante, por lo que de no acercarse ningún interesado, éste debe ser almacenado en el lugar de acopio hasta que haya alguien que lo solicite.

Tabla 15: Cantidad de residuos sólidos.
Promedio anual entre 2011 y 2015

Tipo de residuo sólido orgánico	Cantidad promedio por año (ton seca)
Material orgánico	938
Carozo	189.25

Fuente: Elaboración propia basado en (Aburto & Reyes, 2015).

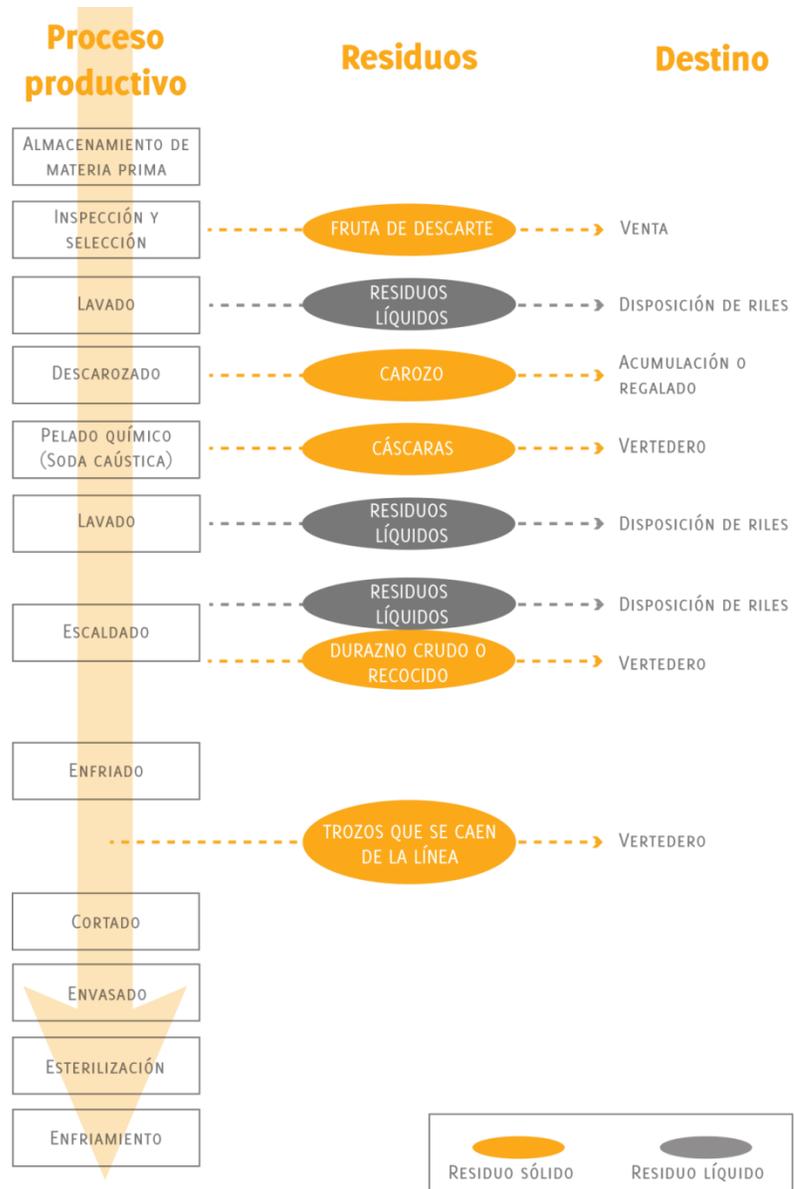


Figura 56: Diagrama de flujo durazno en conserva. Elaboración propia basado en (Aburto & Reyes, 2015; AINIA, 1996; Bonino, Muñoz, Barbará, & Carmona, 2010).

2. CARACTERIZACIÓN DEL CAROZO DE DURAZNO

2.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DEL CAROZO DE DURAZNO

El carozo está conformado por un tipo de células muertas; las esclereidas, específicamente del tipo braquiesclereidas. Éstas se caracterizan por ser células cortas e isodiamétricas.

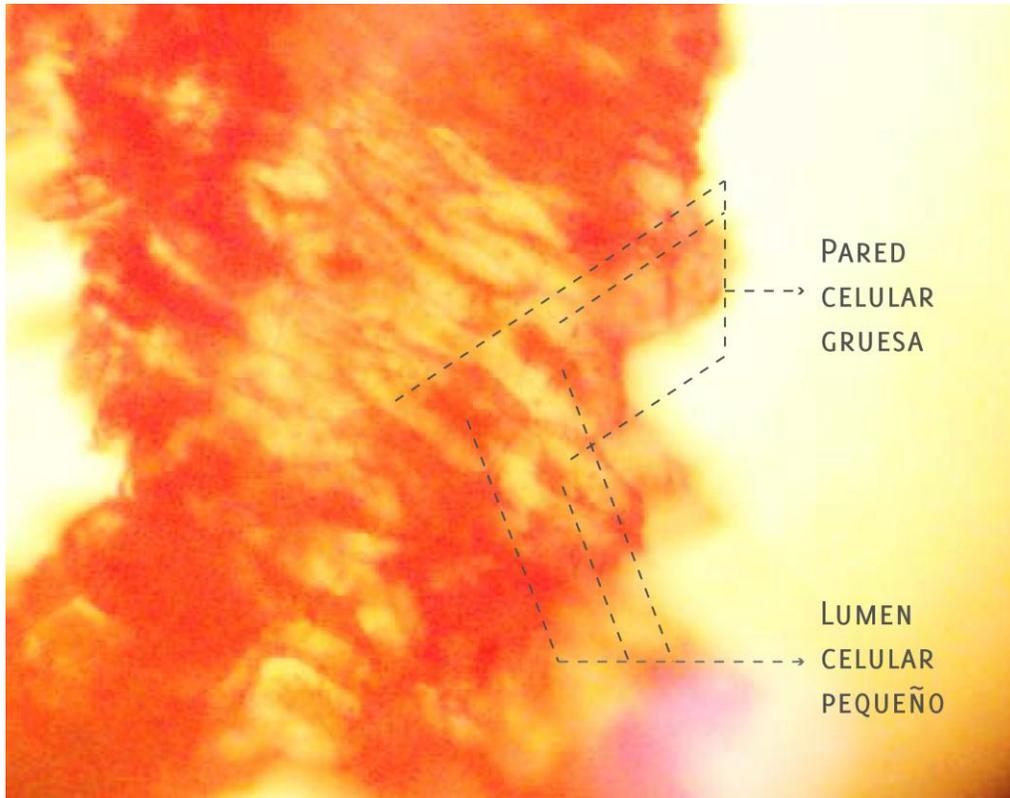


Figura 57: Braquiesclereidas del endocarpo *Prunus Pérsica*, muestra obtenida de Agrofoods. Elaboración propia.

Las esclereidas son generalmente células muertas, pero en algunos casos pueden conservar su protoplasma durante 4 a 5 años. El lumen celular es generalmente pequeño, algunas veces casi por completo obliterado y sus paredes son secundarias y lignificadas. Poseen puntuaciones simples. La lignina es la responsable de la fortaleza y rigidez de la pared, por ser inerte, resistente y muy estable, protege a los otros componentes de la pared celular contra ataques físicos, químicos y biológicos, también regula la hidratación de la celulosa y la elasticidad de la pared (Raisman & Gonzalez, s.f.).

2.2 DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAROZO

Como se muestra en la tabla 16, el volumen obtenido es 0,000014 m³ y la masa de 0,0033kg, por lo que la densidad del carozo es de 235, 7142 Kg/m³.

Tabla 16: Resultado de densidad del carozo de durazno. Elaboración propia.

Densidad 235,7142 Kg/m ³	Masa 0,0033 Kg
	Volumen 0,000014 m ³

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad del carozo, luego de ser secado en estufa y posteriormente estar 4 horas a la intemperie es de 2,49%.



Figura 58: Contenido de humedad en termobalanza. Elaboración propia.

2.3 ANÁLISIS DE TAMAÑO DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DE 300 G DE CAROZO

Como muestra la tabla 13, la distribución de tamaño de partículas, luego del proceso de triturado, muestra que el 42,44% de las partículas son menores a 10 mesh, el 47,02% se encuentra entre 10 y 40 mesh, el 9,09% entre 40 y 60 mesh, el 1,42% entre 60 y 100 mesh y el 0,03% restante mayor a 100 mesh.



Figura 59: Granulometrías tamizadas. Elaboración propia.

Tabla 17: Distribución de tamaño de partículas

Tamiz (mesh)	Masa (gramos)	Porcentaje masa (%)	Tamaño (mesh)	Tamaño (mm)
10	127,33	42,44%	≥ 10	≥ 2
40	141,06	47,02%	10 a 40	2 a 0.4
60	27,2722	9,09%	40 a 60	0.4 a 0.25
100	4,2615	1,42%	60 a 100	0.25 a 0.149
Fino	0,0763	0,03%	< 100	< 0.149
Total	300	100,00%		

Fuente: Elaboración propia.

2.4 ANÁLISIS DE DEGRADACIÓN DEL CAROZO A LA INTEMPERIE

Pasadas 17 semanas los carozos enteros siguen cerrados. Tanto los cerrados como las mitades, se oscurecen, pierden olor al fruto entero y de textura se vuelven más lisos.

Tabla 18: Atributos de observación del carozo antes y después de su exposición a la intemperie.

Atributo	Semana 0		Semana 16	
	Carozos enteros	Carozos en mitades	Carozos enteros	Carozos en mitades
Color	Claro	Claro	Oscuro	Oscuro
Olor	Similar al fruto entero (durazno)	Similar al fruto entero (durazno)	Similar a tierra	Similar a tierra
Textura	Rugosos	Rugosos	Más lisos	Más lisos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Fotografías semanales de carozos expuestos a la intemperie

			
Semana 0	Semana 1	Semana 2	Semana 3
			
Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
			
Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11
			
Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15
			
Semana 16			

EN RELACIÓN A LA REVISIÓN DE LITERATURA Y A LOS RESULTADOS OBTENIDOS, SE IDENTIFICA QUE EL CAROZO DE DURAZNO ES EL RESIDUO DE LA INDUSTRIA HORTOFRUTÍCOLA CHILENO CON MAYOR POTENCIAL PARA SER UTILIZADO EN EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO BAJO IMPACTO AMBIENTAL.

1. GENERA UN PROBLEMA PARA LA INDUSTRIA

La industria debe disponer de espacio para almacenarlo (ver anexo1), por lo que tiene que estar constantemente buscando interesados en el residuo para poder deshacerse de él. A pesar de que este se almacena en un lugar alejado del patio de almacenamiento de residuos y más aún del proceso productivo, eventualmente podría provocar problemas de higiene y malos olores, debido a la descomposición (Aburto & Reyes, 2015).

2. EXISTE UN VOLUMEN NECESARIO PARA ASEGURAR LA FABRICACIÓN DE UN PRODUCTO DE INTERÉS

Agrofoods procesa 30.000 toneladas de duraznos al año y desecha aproximadamente 189,25 toneladas de carozo al año (Aburto & Reyes, 2015), por lo que se puede estimar que si en Chile se procesan aproximadamente 208.268 (IdeaConsultora, 2012) se deberían generar 1.642,27 toneladas de carozo de durazno a nivel nacional.

3. NO TIENE OTRAS APLICACIONES O USOS QUE COMPITAN CON EL PROCESO QUE SE PRETENDE PROMOVER

A pesar de que al carozo, como material lignocelulósico se le da algunos usos, es subutilizado en Chile.

Actualmente se utiliza como biomasa (Aburto & Reyes, 2015) debido a su alto valor energético y su bajo contenido de ceniza, pero este es un proceso que debería ser la penúltima opción dentro de la jerarquización de medidas para gestionar un residuo según el “Informe del estado del medio ambiente 2011” del ministerio de medio ambiente. (MinisterioDelMedioAmbiente, 2011)

También en Chile es utilizado para la producción de carbón activado por la empresa Petrochil S.A., ubicada en la VI región. Ésta procesa 500 toneladas de carbón activado a partir de carozos de durazno al año (Soto Paredes, 2007).

En cuanto a materiales que utilicen este residuo como materia prima sólo se conoce un caso desarrollado comercialmente en Sudáfrica. Éste utiliza el carozo sin tratamiento previo aglutinado con cola, resina y uretano, por lo que se evidencia que hay más posibilidades de utilización del residuo, que aproveche de mejor manera sus propiedades.

4. ES ACCESIBLE LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS

La obtención de muestras no contempla costos solicitados por la industria, pero sí en cuanto a transporte, debido a que éstas lo regalan bajo la condición de que el interesado asuma este gasto (Aburto & Reyes, 2015).

5. ES DE COMPOSICIÓN LIGNOCELULÓSICA

El carozo está compuesto por células llamadas braquiesclereidas, las cuales son altamente lignificadas, además contienen celulosa y hemicelulosa (Raisman & Gonzalez, s.f.).

6. SE PRESENTA LIMPIO O DE FÁCIL Y ECONÓMICA LIMPIEZA

El carozo recién descartado de la línea productiva se presenta con restos de carne adherida, pero gracias a su transporte en agua y a su almacenamiento al aire libre y por un prolongado tiempo, se limpia naturalmente (Ver anexo 1).

7. SE PRESENTA SECO O DE FÁCIL Y ECONÓMICO SECADO

El contenido de humedad del carozo es debido en gran parte a la carne de la fruta que se encuentra adherida a este. Gracias a su almacenamiento al aire libre y por un prolongado tiempo, se seca naturalmente (Ver anexo 1).

8. ES ESTABLE, ES DECIR, NO SE DESCOMPONE FÁCILMENTE BAJO CONDICIONES AMBIENTALES DEL SITIO DONDE SE GENERA

El carozo no se descompone dentro de 3 meses.

9. ES INOCUO PARA LA SALUD HUMANA

El carozo como componente de un fruto comestible, es inocuo para la salud humana, sin embargo, como la mayoría de los frutos presenta contenidos de cianuro, toxico para la salud humana, pero estos son en bajas concentraciones.

3. COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL AGLOMERANTE

En la tabla de comparación 20, se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a cada criterio de selección definido para el aglomerante de bajo impacto ambiental adecuado para el carozo de durazno.

En la primera columna de la tabla, se muestran los aglomerantes comparados y en las siguientes columnas los criterios de evaluación. En las columnas destacadas con un color diferente, se muestran la suma de los valores de cada criterio por aglomerante.

De acuerdo a la tabla, el polipropileno es el aglomerante más adecuado, debido a que se produce en el país, su producción requiere menos de 190 °C, a pesar de que libera gases en su proceso de producción, no lo hace durante su uso, el precio de 1 kg es de 1.000 CLP, su naturaleza hidrofóbica le otorga alta resistencia a la humedad, es posible reciclarlo y durante el transcurso de este proyecto, se presentó la oportunidad de obtener muestras del polímero.

Tabla 20: Comparación de materiales según criterios de selección del aglomerante

Aglomerante	PARÁMETROS							Valoración	Factibilidad de experimentación	Valoración
	Origen del adhesivo	Proceso productivo para generar el material			Uso		Posterior uso del material			
	Lugar de producción	Temperatura de fusión o curado	Liberación de gases en el proceso de producción	Precio de 1 kg	Resistencia a la humedad	Liberación de gases durante su uso	Posibilidad de reciclaje			
Urea-formaldehído (UF)	Chile	135°C - 177°C	Sí	670	No	Sí	No	-	No	-
	1	1	0	1	0	0	0	3	0	3
Resina epóxica	Chile	Temperatura ambiente	Sí	19.000	Sí	-	-	-	No	-
	1	1	-	0	1	-	-	3	0	3
Acetato de polivinilo (PVA)	Chile	Temperatura ambiente	-	2.000	No	No	No	-	No	-
	1	1	-	0	0	1	0	3	0	3
Arboform (a base de lignina y cáñamo)	Otro continente	Reblandecimiento 80°C - 90°C	No	3.200	Sí	No	No	-	No	-
	0	0	1	0	1	1	0	3	0	3
Polipropileno (PP)	Chile	170°C	Sí	1.000	Sí	No	Sí	-	Sí	-
	1	1	0	1	1	1	1	6	1	7
Polietileno (LDPE y HDPE)	Chile	105°C - 130°C	Sí	1.000	Sí	No	Sí	-	No	-
	1	1	0	1	1	1	1	6	0	6
PVC	Chile	150°C	Sí	950	Sí	-	Sí	-	No	-
	1	1	0	1	1	-	1	5	0	5

Fuente: Elaboración propia.

4. CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

4.1 ÉTAPA A DE LA CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

En la tabla 21 se muestran las probetas de mezclado de los componentes del material. En la comuna izquierda se describe el proceso que origina la probeta y en la derecha las observaciones de los resultados de la conformación del material en esta etapa.

En la etapa A los métodos artesanales y manuales no fueron suficientes para replicar el proceso de elaboración del compuesto de madera-plástico, mostrando malos resultados. Por lo que se decide utilizar los métodos y equipos del Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío Bío.

Tabla 21: Resultados proceso de mezclado térmico de etapa A.

Proceso	Probeta	Observación
Mezclado en sartén de cerámica y vertido en molde de aluminio.		Quedan burbujas por lo que se requiere un proceso de prensado con calor.
Material físicamente mezclado y luego puesto en molde entre planchas de aglomerado forradas en papel aluminio.		No se aglomera.

Figura 60: Probeta de conformación del material. Elaboración propia.

Figura 61: Probeta de mezclado térmico. Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 ETAPA B DE LA CONFORMACIÓN DEL MATERIAL

4.2.1 TABLEROS OBTENIDOS DE LA PRENSA HP

Los tableros obtenidos de la prensa HP, con sistema de enfriamiento incorporado, muestran gran calidad, en cuanto a uniformidad superficial, porosidad y no presentan soplado.

La porosidad y el soplado son consecuencia del alto contenido de lignina del carozo de durazno y pudiera deberse también a la presencia de alta concentración de extractivos en el material lignocelulósico. La lignina y extractivos son liberados en forma gaseosa cuando les son aplicado calor y estos gases quedan atrapados en el espacio del marco dentro de la prensa, generando las burbujas.

La baja porosidad y soplado son resultados esperados en las muestras CD1 y CD2 obtenidos de la prensa HP con sistema de enfriamiento incorporado, ya que permite el enfriamiento del material mientras aún sigue prensando, evitando que el material se esponje.

Es por estos resultados que los ensayos físico-mecánicos son realizados con probetas obtenidas de los tableros prensados con ésta prensa.



Figura 62: Tableros obtenido de prensa con sistema de enfriamiento incorporado, muestra CD1 y CD2. b. Muestra CD1 en detalle. Elaboración propia.

4.2.2 TABLEROS OBTENIDOS DE LA PRESNA DUMONT CON MÉTODO DE PRENSADO TRADICIONAL

En la tabla 22 se muestran las repeticiones de los tableros prensados con el método tradicional, las variables, las observaciones y las decisiones que se tomaron para mejorar el proceso.

Tabla 22: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método tradicional en prensa Dumont.

Tablero	Variables tableros			Variables prensa			Decisiones	
	Muestra	Marco (mm)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Observación	Variación
1	CD1	300x300x10	1200	30	180	10	Más oscuro Olor a quemado	Bajar temperatura y tiempo
2	CD1	450x450x10	2000	10	172	10	Más claro Poca porosidad	Se mantienen variables
3	CD1	450x450x10	2000	10	172	10	Irregularidad superficial, pero poca porosidad.	Se mantienen variables
4	CD1	450x450x10	2000	10	172	10	Irregularidad superficial, pero poca porosidad.	Se mantienen variables
5	CD1	450x450x10	2000	10	172	10	Levemente soplado	Se mantienen variables
6	CD2	450x450x10	2000	10	172	10	No se funde completamente en las esquinas.	Subir temperatura
7	CD2	450x450x10	2000	10	180	10	Se funde, pero se sopla el tablero.	Bajar la temperatura
8	CD2	450x450x10	2000	10	175	10	Se funde y se sopla el tablero.	Adaptación de método de prensado

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 TABLEROS OBTENIDOS CON MÉTODO DE PENSADO A

En la tabla 23 se muestra las variables y decisiones del tablero prensado con el método A. Éste no obtuvo buenos resultados, por lo que se decide cambiar de método.

Tabla 23: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método A en prensa Dumont.

Tablero	Variables tablero			Variables calentado		Variables prensado		Decisiones	
	Muestra	Marco (mm)	Cantidad (g)	Temperatura inicial (°C)	Tiempo de temperatura inicial (min)	Temperatura de prensado (°C)	Tiempo de prensado (min)	Observación	Variación
9	CD2	450x450x10	2000	175	10	50	60	No se funde completamente y se sopla.	Otro método de prensado

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 TABLEROS OBTENIDOS CON MÉTODO DE PENSADO B

En base a los buenos resultados obtenidos en la prensa con enfriamiento incorporado, se simula un ciclo de prensado con enfriamiento con la prensa Dumont.

Tabla 24: Variables y decisiones del proceso de elaboración de tableros con método B en prensa Dumont

Tablero	Variables tablero			Variables prensado		Variables de prensado en frío	Decisiones	
	Muestra	Marco (mm)	Cantidad (g)	Temperatura inicial (°C)	Tiempo de prensado (min)	Tiempo de prensado en frío (hrs)	Observación	Variación
6	CD2	450x450x10	2000	175	10	12	Porosidad superficial	Se mantienen variables
7	CD2	450x450x10	2000	175	10	3	Porosidad superficial	Se mantienen variables
8	CD2	450x450x10	2000	175	10	3	Porosidad superficial	Se mantienen variables
9	CD2	450x450x10	2000	175	10	3	Porosidad superficial	Se mantienen variables
5	CD1	450x450x10	2000	175	10	3	Porosidad superficial	Se mantienen variables

Fuente: Elaboración propia.

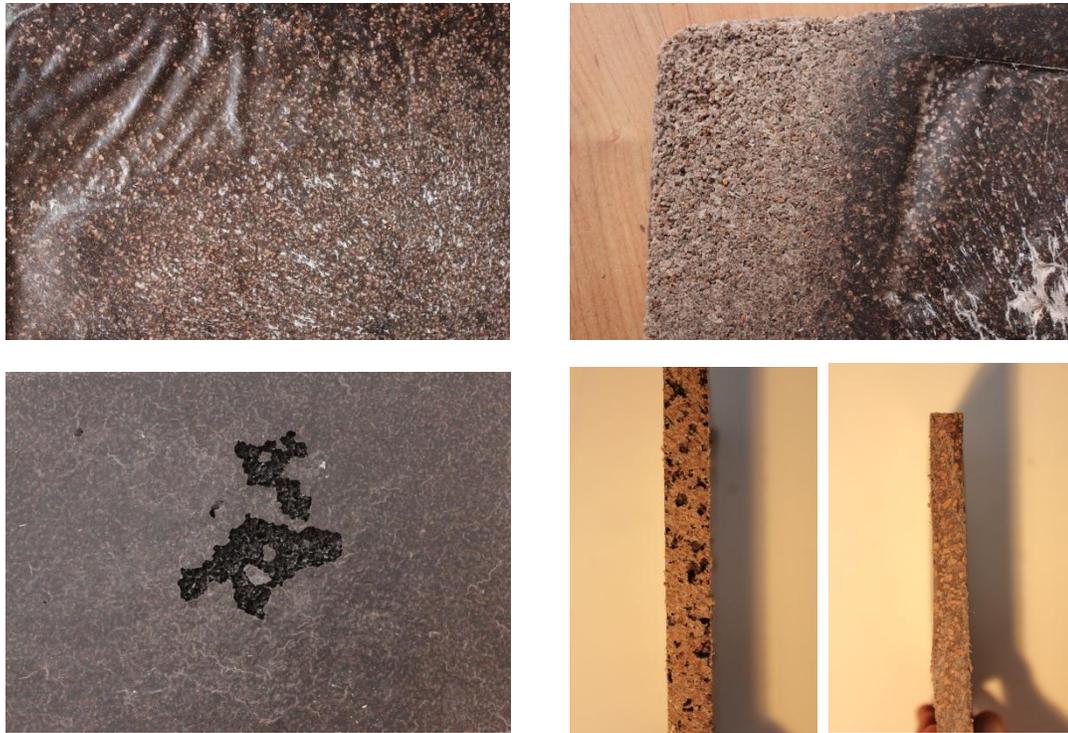


Figura 63: a. Irregularidad superficial. b. Soplado. c. Fundido incompleto d. Alta porosidad. e. Baja porosidad. Elaboración propia.

Tabla 25: Características de los tableros obtenidos de la prensa Dumont

	CD1	Mayor o menor	CD2
Porosidad		<	
Homogeneidad superficial		>	
Soplado		<	

Fuente: Elaboración propia.

Los tableros obtenidos de la prensa Dumont presentan peores características en cuanto a porosidad, homogeneidad superficial y soplado (ver imagen 63) que los obtenidos de la prensa HP con sistema de enfriamiento incorporado.

La muestra CD1 presenta mejores resultados en cuanto a porosidad y soplado que la muestra CD2, pero menor homogeneidad superficial. Es por eso que la presencia de alta porosidad y soplado en la muestra CD2 es un resultado esperado, ya que ésta contiene una mayor proporción de carozo.

4.2.5 Perfiles extruídos

Como se evidencia en la figura 64 se obtienen buenos resultados del proceso de extrusión de perfiles de la muestra CD2, ya que se observa una mezcla con baja porosidad pero también con baja homogeneidad superficial. La baja porosidad es debido a que la extrusora cuenta con un sistema de desgasificado mediante un bomba de vacío.

La baja homogeneidad superficial es debido a que el proceso de extrusión requiere mayor incorporación de variables que no fueron abarcadas en esta prueba.



Figura 64: a. perfiles extruídos de muestra CD2. b. Detalle de los perfiles extruídos. Elaboración propia.

5. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DISEÑADO

5.1 PROPIEDADES FÍSICAS

5.1.1 DENSIDAD

Los resultados del perfil de densidad vertical de las probetas de muestra CD1 y CD2, comparadas con probetas de 100% de polipropileno y de madera-plástico tradicional con madera de pino radiata en proporción 60% madera de pino y 40% polipropileno se muestran en la tabla

26, donde el promedio de la densidad es el denominado “Ex-sander”.

No existe gran diferencia entre la densidad de la muestra CD1 y CD2, pero son aproximadamente un 26% más densas que la madera-plástico tradicional y un 17% más densas que el polipropileno utilizado (PH 0322).

Tabla 26: Perfil de densidad de láminas de muestra CD1 y CD2, comparados con polipropileno al 100% y madera-plástico tradicional.

Probeta	Espesor de la probeta (mm)	Densidad						
		Pico izquierdo (kg/m ³)	Pico derecho (kg/m ³)	Superficie izquierda (kg/m ³)	Superficie derecha (kg/m ³)	Promedio superficie (kg/m ³)	Centro (kg/m ³)	Ex-sander (kg/m ³)
CD1	3,13	1274	1293	1077	1224	1150	1263	1206
CD2	3,14	1296	1287	1201	1140	1170	1261	1205
PP	2,35	1147	1174	528	1139	833	1142	1002
MP	2,77	960	970	920	890	1080	1080	890

Fuente: Elaboración propia. Resultado de madera-plástico tradicional obtenido de (Wechsler, 2013).

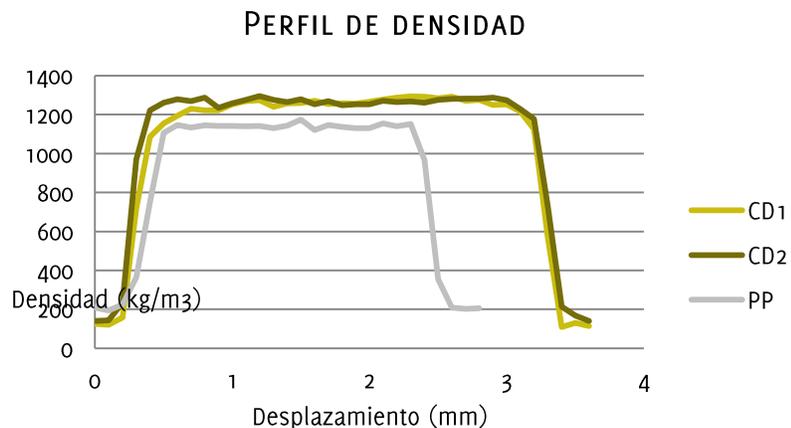


Figura 65: Gráfico de perfil de densidad. Elaboración propia.

RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD DEL CAROZO, DEL POLIPROPILENO Y DEL MATERIAL

La densidad del carozo es un 23,5% de la densidad del polipropileno. Una vez unidos estos componentes, el material resultante es aproximadamente un 20% más denso que el polipropileno y un 80,4% que el carozo.

ρ carozo (kg/m ³)	ρ PP (kg/m ³)	ρ CD1 (kg/m ³)	ρ CD2 (kg/m ³)
235,71	1002	1206	1205

5.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

Como se mencionó en la metodología, antes de procesar el material, el carozo se secó al 1%, previo a ser mezclado con el polipropileno. Como se muestra en la tabla 27, no se presenta gran diferencia de contenido de humedad entre las probetas de las muestra CD1 y CD2, pero ambas presentan una gran diferencia en relación a la probeta de polipropileno con un contenido de humedad de 0%. Este resultado es esperado, debido a la naturaleza hidrofóbica del polipropileno (Wolcott, 2001). El promedio del contenido de humedad de las muestras CD1 y CD2 es un 50% del contenido de humedad presentado en la probeta de madera plástica tradicional.

Tabla 27: Resultados contenido de humedad.

Muestra	Probeta	Contenido de humedad (%)
CD 1	1	1,49
CD 2	2	1,42
PP	PP	0
Madera plástica (pino radiata)	MP	2,9

Elaboración propia. Resultado de madera-plástico tradicional obtenido de (Wechsler, 2013).

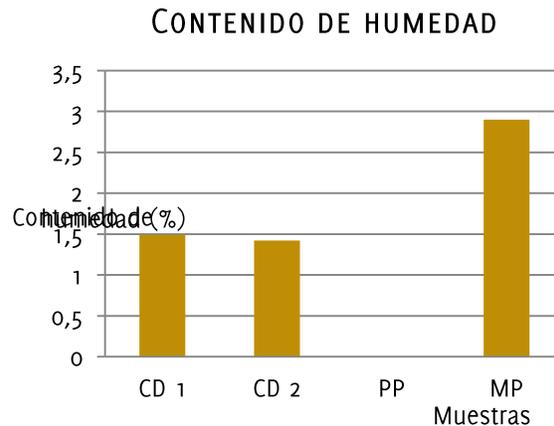


Figura 66: Gráfico de contenido de humedad. Elaboración propia.

5.1.3 ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO

Los resultados expuestos en la tabla 28, muestran la absorción de humedad y el hinchamiento, pasadas 2 y 24 h de estar sumergidas en agua.

La absorción de agua luego de 24 h es estadísticamente diferente en cada muestra. Es decir, la muestra de polipropileno es la que absorbe menor cantidad de agua, con un 0,34%, luego aumenta considerablemente en la muestra CD1 con un 2,1%, luego la muestra CD2 con un 4,22% y finalmente la madera plástico tradicional con un 8,4%.

En cuanto al hinchamiento presentado en las probetas CD1 y CD2 no existe diferencia estadística, pero entre todas las demás muestras si la hay. La muestra que presenta menor hinchamiento es la de polipropileno, con un 0,385%, luego la muestra CD1 y CD2 y finalmente la madera plástico tradicional con un 7,8%.

Tabla 28: Resultados de absorción de agua e hinchamiento después de 2 y 24 horas.

Muestra	Probeta	Absorción de humedad		Hinchamiento	
		2 h (%)	24 h (%)	2 h (%)	24 h (%)
CD1	M 1.1	0,59	2,46	1,09	4,51
	M 1.2	0,5	1,76	2,46	3,64
	Promedio	0,545	2,11	1,775	4,075
CD2	M 2.1	0,69	4,14	2,2	5,06
	M 2.2	0,79	4,3	1,47	5,05
	Promedio	0,74	4,22	1,835	5,055
PP	PP 1	0,47	0,47	0,91	0,65
	PP 2	0	0,21	0,48	0,12
	Promedio	0,235	0,34	0,695	0,385
MP	Promedio	2,8	8,4	3,9	7,8

Fuente: Elaboración propia. Resultados madera plástico tradicional obtenidos de (Wechsler, 2013).

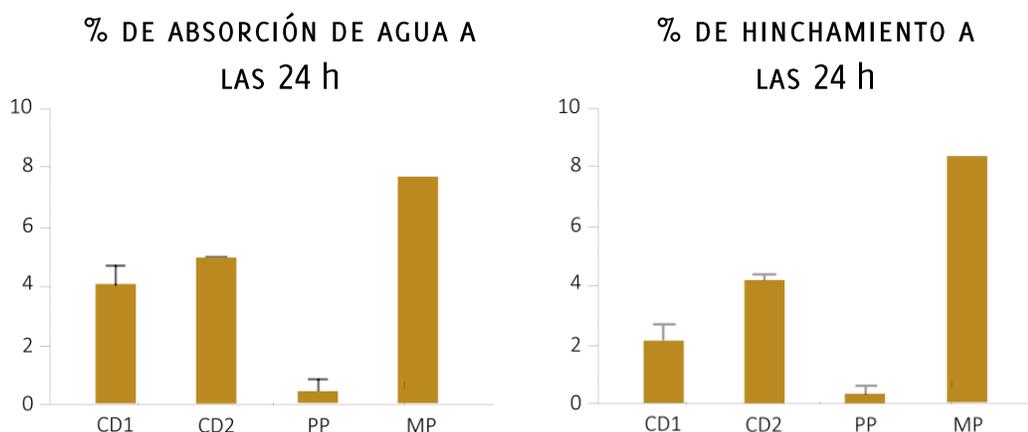


Figura 67: a. Gráfico de absorción de agua. b. Gráfico de hinchamiento. Elaboración propia.

El análisis ANOVA muestra diferencia significativa en la absorción de agua entre las muestras CD1 y CD2 y no en el hinchamiento. Se puede suponer entonces que a pesar de que al aumentar la cantidad de carozo en una muestra, aumenta la absorción de agua, esto no afecta considerablemente a la estabilidad dimensional del material.

La lignina protege a la fibra de agentes externos y evita la absorción de humedad en los materiales lignocelulósicos. El carozo compuesto de braquiesclereidas, posee alta cantidad de lignina, lo que explica los bajos resultados de absorción de agua e hinchamiento de las muestras CD1 y CD2 (Raisman & Gonzalez, s.f.).

5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

5.2.1 ENSAYO DE FLEXIÓN

Los resultados del ensayo de flexión se exponen en la tabla 29 y figura 68, donde las variables que se utilizan para comparar es el esfuerzo de fluencia (δf), el módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR).

El esfuerzo de fluencia en flexión es similar en la muestra CD1 y CD2, no presentan diferencia estadística, por lo que al agregar carozo de durazno no aumenta ni disminuye su resistencia en la zona elástica.

El MOE de la muestra CD1 no es estadísticamente diferente al MOE de la muestra CD2, esto puede deberse a que la diferencia de cantidad, entre 50%-50% y 60%-40% no es demasiada como para alterar significativamente el modulo elástico. Tampoco se presenta diferencia entre los MOE de las muestras CD1 y CD2 con el PP, por lo que la adición del carozo, no aumenta ni disminuye considerablemente las propiedades mecánicas del polipropileno. La madera-plástico tradicional presenta un módulo elástico significativamente mayor al de la muestra CD2 (con el mismo porcentaje de componentes) y el PP. Esto es esperable de acuerdo a la forma en fibras de la madera, las cuales aumentan el MOE del material (Baillie & Vanasupa, 2003).

El MOR varía significativamente entre la muestra CD1 y CD2, siendo el de CD1 14.71 mPa y el de CD2 27.42 mPa, es decir a medida que aumenta la cantidad de carozo en la muestra, disminuye su MOR y por lo tanto el material se rigidiza (Baillie & Vanasupa, 2003).

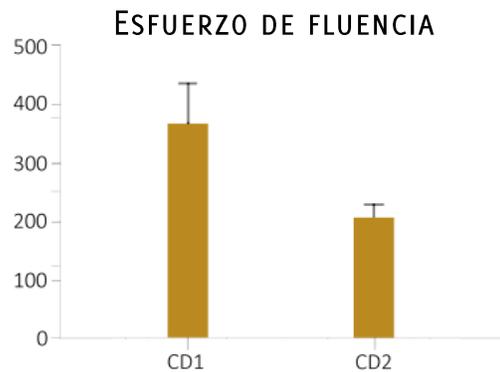


Figura 68: Gráfico esfuerzo de fluencia. Elaboración propia.

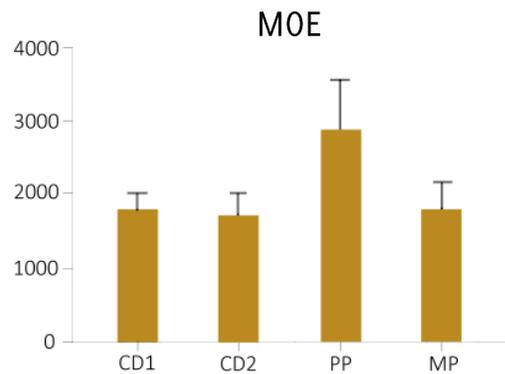


Figura 69: Gráfico módulo de elasticidad. Elaboración propia.

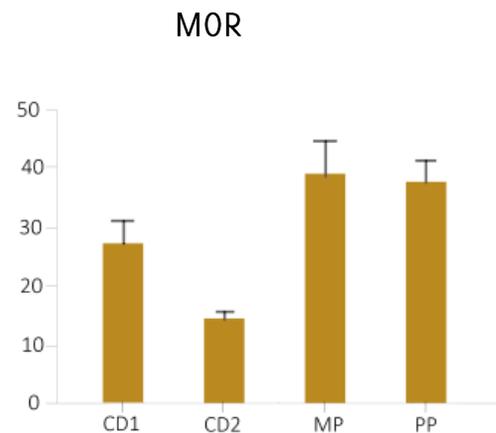


Figura 70: Gráfico módulo de ruptura. Elaboración propia.

En las columnas de la tabla se presentan los resultados por variable calculada y en las filas, las cinco probetas por muestra. En la última fila de cada muestra, se presenta un promedio de los valores obtenidos en cada probeta y su desviación estándar (DE).

Tabla 29: Resultados ensayo de flexión

Muestra	Probeta	Carga máxima (kN)	Desplazamiento máximo (mm)	Esfuerzo de fluencia (mPa)	Deformación (mm)	MOR (mPa)	MOE (mPa)
CD1	1.1	0,0362	5,44	327199	0,1	26,70	1924
	1.2	0,0403	4,64	349108	0,0852	30,95	1946
	1.3	0,0443	4,8	482066	0,0882	27,11	1653
	1.4	0,0322	3,35	319388	0,0615	21,63	1866
	1.5	0,0416	5,83	375415	0,1071	30,71	1995
	Promedio y DE	0,03892 +/- 0,0048	4,812 +/- 0,9484	370635,2 +/- 65984,9774	0,0884 +/- 0,0175	27,42 +/- 3,7889	1876,8 +/- 133,41
CD2	2.1	0,0215	1,23	221232	0,0226	13,90	1887
	2.2	0,0228	2,64	226004	0,0485	15,33	1791
	2.3	0,0215	2,15	204584	0,0395	15,03	1765
	2.4	0,0188	1,87	171873	0,0343	13,69	1313
	2.5	0,0228	2,15	222115	0,0395	15,60	1994
	Promedio y DE	0,02148 +/- 0,0016	2,008 +/- 0,5158	209161,6 +/- 22408,4006	0,03688 +/- 0,0095	14,71 +/- 0,8625	1750 +/- 260,37
PP	PP1	0,0188	5,69	-	-	43,78	1744
	PP2	0,0161	4,01	-	-	37,75	1665
	PP3	0,0161	4,74	-	-	37,65	1629
	PP4	0,0148	4,38	-	-	34,2	2422
	PP5	0,0148	4,46	-	-	35,62	1755
	Promedio y DE	0,01612 +/- 0,0016	4,656 +/- 0,6341	-	-	37,8 +/- 3,6571	1843 +/- 327,97
MP	MP1	0,062	2,8	-	-	36,6	2700
	MP2	0,052	2,9	-	-	32,6	1900
	MP3	0,058	2,9	-	-	39,9	2900
	MP4	0,063	2,6	-	-	41,7	3100
	MP5	0,07	3	-	-	46,7	3800
	Promedio y DE	0,061 +/- 0,0066	2,84 +/- 0,1517	-	-	39,5 +/- 5,3118	2880 +/- 687,0226

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Los resultados del ensayo de tracción se presentan en la tabla 30 y figura 71 y 72, donde se utilizan para comparar el esfuerzo de fluencia (σ_f) y la resistencia a la tracción.

El esfuerzo de fluencia en tracción no varía significativamente entre las muestras CD1 y CD2 ambas están entre los 192,59 mPa y 150,44 mPa, por lo que al agregar carozo de durazno no aumenta ni disminuye su resistencia en la zona elástica.

La diferencia de resistencia a la tracción es estadísticamente significativa entre las muestras CD1 y CD2, a medida que aumenta la cantidad de carozo, disminuye la resistencia a la tracción. Este resultado es esperable, debido a que las partículas rigidizan el material (Baillie & Vanasupa, 2003). También existe una diferencia significativa entre la muestra CD2 y MP (con el mismo porcentaje de componentes) donde la muestra MP tiene menor resistencia a la tracción que la CD2, debido a la morfología del material lignocelulósico, que en la madera son fibras y en el carozo partículas (Baillie & Vanasupa, 2003).

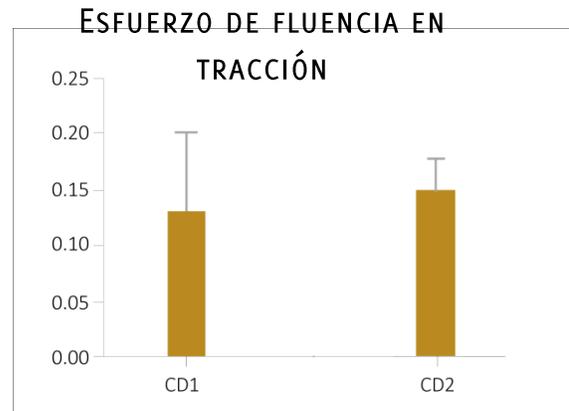


Figura 71: Gráfico esfuerzo de fluencia en tracción. Elaboración propia.

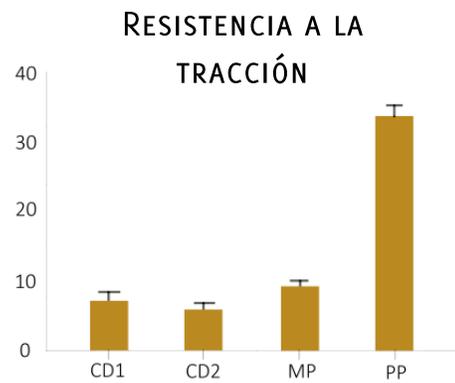


Figura 72: Gráfico resistencia a la tracción.

En las columnas de la tabla se presentan los resultados por variable calculada y en las filas, las cinco probetas por muestra. En la última fila de cada muestra, se presenta un promedio de los valores obtenidos en cada probeta y su desviación estándar (DE).

Tabla 30: Resultados ensayo de tracción

Muestra	Probeta	Carga máxima (kN)	Desplazamiento en carga máxima (mm)	Esfuerzo de fluencia (mPa)	Deformación en el punto de fluencia (mm)	Tensión en carga máxima (mPa)	Módulo de Young (mPa)
CD1	1.1	0,353	3,408	15,2	0,0035	8,699	2137
	1.2	0,294	2,868	196,7	0,0035	7,453	2405
	1.3	0,3262	1,491	144,4	0,0034	7,961	2782
	1.4	0,3248	1,782	141,7	0,0035	7,747	2567
	1.5	0,2403	1,658	149,6	0,0027	6,275	2521
	Promedio y DE	0,30766 +/- 0,0431	2,2414 +/- 0,8468	129,52 +/- 67,7407	0,00332 +/- 0,0003	7,627 +/- 0,8851	2482,4 +/- 236,48
CD2	2.1	0,2027	1,642	132,9	0,0035	4,274	2325
	2.2	0,2631	1,256	183,5	0,0033	6,047	2036
	2.3	0,2416	0,866	118	0,003	5,556	2048
	2.4	0,251	1,007	141,7	0,0035	5,796	2237
	2.5	0,2966	1,067	176,1	0,0028	6,938	2041
	Promedio y DE	0,251 +/- 0,0341	1,1676 +/- 0,2999	150,44 +/- 28,2303	0,00322 +/- 0,0003	5,7222 +/- 0,9636	2137,4 +/- 134,8
PP	PP1	0,8295	4,665	-	-	32,01	2210
	PP2	0,949	11,09	-	-	33,91	2103
	PP3	0,9248	10,03	-	-	34,25	2090
	PP4	0,9329	11,55	-	-	35,53	2499
	PP5	0,9074	13,66	-	-	34,74	2379
	Promedio y DE	0,90872 +/- 0,0468	10,199 +/- 3,3635	-	-	34,088 +/- 1,3115	2256,2 +/- 178,37
MP	MP1	0,35	1,09	-	-	9,5	974
	MP2	0,3	0,87	-	-	8,3	774
	MP3	0,34	0,97	-	-	9,3	900
	MP4	0,39	0,93	-	-	9,7	754
	MP5	0,36	0,88	-	-	9,7	1183
	Promedio y DE	0,348 +/- 0,0327	0,948 +/- 0,089	-	-	9,3 +/- 0,5831	917 +/- 174,15

Fuente: Elaboración propia.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE ENVEJECIMIENTO

Pasadas 3 semanas las probetas no presentan grandes cambios en peso, color ni textura. Por lo que el material tiene una buena resistencia a la intemperie.



Semana 0



Semana 1



Semana 2



Semana 3

Figura 73: a. Probetas recién dispuestas. b. Probetas de una semana a la intemperie. c. Probetas de dos semanas a la intemperie. d. Probetas de tres semanas a la intemperie. Elaboración propia.

5.4 CARACTERÍSTICAS DE MECANIZADO

CORTE CON SIERRA DE BANCO

El corte en sierra de banco muestra buenos resultados en cuanto a astillamiento y marcas de la herramienta.



Figura 74: a. Corte de muestra CD1. b. Corte de muestra CD2. Elaboración propia.

Tabla 31: Evaluación corte con sierra de banco

Criterio de evaluación	Bajo	Medio	Alto
Astillamiento		x	
Marcas de la herramienta en el material		x	

Fuente:
Elaboración propia.

LIJADO CON ESMERIL DE BANCO

El proceso de lijado en esmeril de banco muestra buenos resultados en ambas muestras, pero la muestra CD1 al calentarse se derrite superficialmente, por lo que es necesario lijar en intervalos de 5 minutos, dejando enfriar por 5 minutos.



Figura 75: a. Muestra CD1 lijada con esmeril de banco. b. Muestra CD2 lijada con esmeril de banco.

Tabla 32: Evaluación lijado con esmeril de banco

Criterio de evaluación	Bajo	Medio	Alto
Astillamiento	x		
Marcas de la herramienta en el material		x	

Fuente:
Elaboración propia.

PERFORADO EN TALADRO DE PEDESTAL

Las perforaciones en taladro de pedestal presentan mejores resultados en cuanto a astillamiento en la muestra CD1 que en la CD2, debido a la porosidad de la segunda.

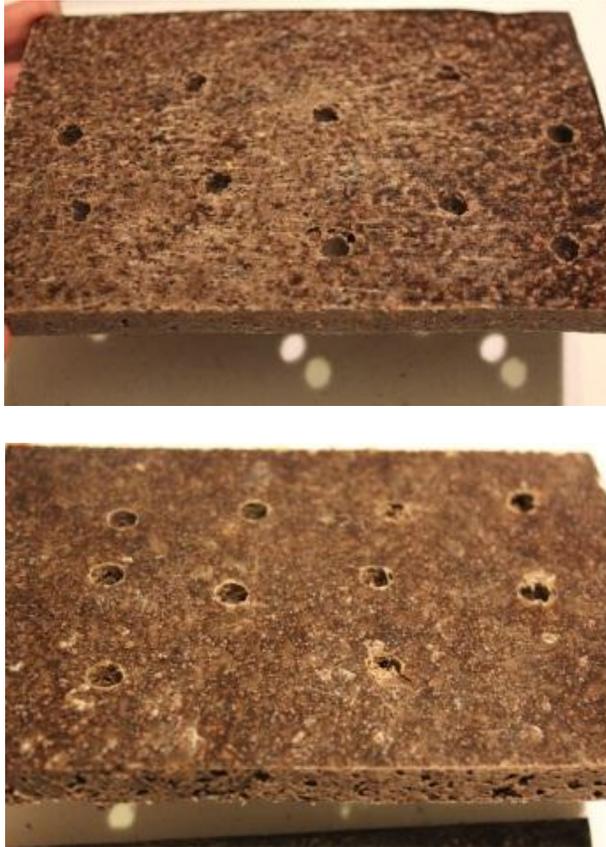


Figura 76: a. Muestra CD1 perforada con taladro de pedestal. b. Muestra CD2 perforada con taladro de pedestal. Elaboración propia.

Tabla 33: Evaluación perforado en talador de pedestal

Criterio de evaluación	Bajo	Medio	Alto
Astillamiento			x
Marcas de la herramienta en el material		x	

Fuente:
Elaboración propia.

5.5 TERMOLDEABILIDAD

Las pruebas de termomoldeado presentaron buenos resultados.

El horno convencional, calentó el material de manera superficial, por lo que al comprimirlo en el molde, las probetas presentaron estrías.

Las planchas calientes calentaron homogéneamente el material, por lo que se obtuvieron mejores resultados de termomoldeabilidad con dicha fuente de calor.

MOLDE DE SIMPLE CURVATURA

La curva del molde de simple curvatura probado, fue muy pronunciada para el material, por lo que variando el tiempo de exposición al calor, las probetas presentaron estrías, en el caso de menor tiempo de exposición al calor o derretido excesivo, en el caso de mayor tiempo de exposición al calor.

El tamaño de la probeta a calentar influye en el tiempo de exposición que requiere para ablandarse. Para el termomoldeado en el molde de simple curvatura, se usaron probetas de 150 x 8 mm y el tiempo óptimo de calentado fue entre 5 a 6 minutos.

MOLDE DE DOBLE CURVATURA

Las curvas del molde de doble curvatura, fueron menos pronunciadas que las del molde de simple curvatura, por lo que se lograron mejores resultados. Para el termomoldeado en el molde de doble curvatura, se usaron probetas de 300 x 250 mm y el tiempo óptimo de calentado fue entre 20 y 22 minutos.

Las láminas de silicona utilizadas como desmoldante, muestran los mejores resultados en cuanto a homogeneidad superficial, sin embargo, marcan ciertas arrugas en la probeta. Para lograr mejores resultados superficiales, se podrían lijar las probetas.



Figura 77: a. Probeta de simple curvatura. b. Probetas de doble curvatura. Elaboración propia.

V CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO



CONCLUSIONES

Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un material compuesto de bajo impacto ambiental basado en un residuo de la agroindustria hortofrutícola chilena para aplicaciones constructivas. Fue llevado a cabo con una combinación de revisión de literatura, trabajo de campo y experimentación para responder a la pregunta de investigación presentada en la introducción.

La pregunta de investigación

¿ES POSIBLE UTILIZAR UN RESIDUO AGROINDUSTRIAL COMO MATERIAL LIGNOCELULÓSICO PARA LA FABRICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL?

Se responde con una respuesta afirmativa. El carozo de durazno fue el residuo agroindustrial identificado. Éste es un material lignocelulósico que aporta al momento de mezclarse con un aglomerante para la elaboración de un material compuesto, por ser un residuo agroindustrial, porque su procesamiento no requiere un excesivo gasto energético ni económico, es inocuo para la salud humana y la industria de procesamiento de conservas chileno lo regala.

Para responder esta pregunta y cumplir con el objetivo general, se cumplieron a cabalidad los objetivos específicos, a través de las actividades descritas en el capítulo III “Metodología de investigación”.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1

IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR UN RESIDUO AGROINDUSTRIAL HORTOFRUTÍCOLA CHILENO CON POTENCIAL PARA SER UTILIZADO EN EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL.

Se identificó como residuo el carozo de durazno proveniente del proceso productivo de la industria de procesamiento de conservas. Se caracterizó a través de la entrevista a la industria conservera Agrodoods Central Valley y a través de los análisis descritos en la fase I de la metodología. Finalmente se corroboró que cumpliera con los atributos de selección de residuo previamente definidos.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2

SELECCIONAR UN AGLOMERANTE DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL ADECUADO PARA EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO.

Se seleccionó el polipropileno como aglomerante de bajo impacto ambiental debido a que obtuvo el mayor puntaje de acuerdo a la matriz de valoración explicada en la fase I de la metodología.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3

DISEÑAR UN MATERIAL BASADO EN EL RESIDUO Y AGLOMERANTE SELECCIONADOS.

Se diseñó el material en cuanto a sus componentes, carozo y polipropileno, en cuanto a su proporción en el diseño de las muestras, a los procesos de conformación y sus variables, todos detallados en el capítulo IV y V, de metodología y resultados.

OBJETIVO ESPECÍFICO 4

CARACTERIZAR EL MATERIAL DISEÑADO EN CUANTO A SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, DE MECANIZADO, MOLDEABILIDAD Y DE ENVEJECIMIENTO.

Se realizaron ensayos físico-mecánicos y de mecanizado bajo normas ASTM y chilenas y pruebas de moldeabilidad y de envejecimiento del material diseñado bajo métodos creados para esta investigación.

De esta manera, se cumple con el objetivo general.

TRABAJO FUTURO

- Se recomienda hacer un análisis químico del carozo de durazno, para conocer principalmente su composición de lignina y extractivos que afectan en su rendimiento mecánico.
- Para conocer la temperatura de degradación térmica del carozo se recomienda realizar un ensayo de degradación térmica, para conocer las máximas temperaturas a las que puede procesarse este material lignocelulósico.
- Una recomendación práctica es utilizar una granulometría específica, es decir, menor a 40 mesh, para evitar que las partículas más pequeñas se degraden térmicamente.
- Para mejorar las características mecánicas, se recomienda conformar el material a una menor temperatura, así como también procesarlo en equipos que cuenten con sistema de desgasificación. En el caso de utilizar una extrusora con sistema de desgasificación, se recomienda utilizar también túnel de enfriamiento y experimentar con otros cabezales de mayores dimensiones.
- Otra recomendación es probar aglomerar el carozo con otros polímeros que fundan a menor temperatura, para evitar la degradación térmica del carozo.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aburto, J., & Reyes, C. (2015) *Entrevista Agrofoods Central Valley Chile/Interviewer: Y. Díaz & J. Molina*.
- Agrofoods. (2016a). Agrofoods logo. In descarga (Ed.). Canadá: Powell Nay International.
- Agrofoods. (2016b). Productos. Retrieved from <http://www.agrofoods.cl/es/Productos/Frutas-y-verduras-en-conservas>
- Agrofoods. (2016c). Quiénes somos.
- AH! (2016). AH! Home. Retrieved from <http://ah.jumpseller.com/>
- AINIA, I. t. a. (1996). La industria de elaborados vegetales. España.
- Arruabarrena, A., Bonifacino, M., González, A., González, S., Jolochin, G., Souza, M., . . . Valtierra, V. (2015). *Botánica. Guía curso 2015*. Uruguay.
- Arvelakis, S., Gehrmann, H., Beckmann, M., & Koukios, E. G. (2004). Preliminary results on the ash behavior of peach stones during fluidized bed gasification: evaluation of fractionation and leaching as pre-treatments Retrieved from
- Ashby, M., & Johnson, K. (2002). *Materials and design* (Third edition ed.). Waltham, USA: Elsevier Ltd.
- ASTM. (1999). Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials (Vol. D 1037-99, pp. 31). West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.
- ASTM. (2002a). Standard Test Method for Flexural of Unreinforced and Reinforced PLastics and Electrical Insulating Materials (Vol. D 790-02). West Conshohocken, USA: American Society for Testing and Materials International.
- ASTM. (2002b). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics: American Society for Testing and Materials International.
- ASTM. (2011). Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood-Base Panel Materials *Methods of testing wood-base panels* (Vol. D1666-11, pp. 17). West Conshohocken, USA: American Society for Testing and Materials International.
- Ayres, R. (1989). Industrial metabolism *National Academy Press*. Washington, DC.
- Ayrlimis, N., Buyuksari, U., & Dundar, T. (2010). Waste pine cones as a source of reinforcing fillers for thermoplastic composites. *Journal of applied polymer science*, 117.
- B2Brazil. (2015). Ind. E Com. De Tec. Sustentável Para Amazonia Ltda-Poematec. Retrieved from <http://b2brazil.com.br/hotsite/indecomdetecsus>
- Baillie, C., & Vanasupa, L. (2003). *Navigating de materials world*: Academic Press.
- Balat, M. (2010). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review Retrieved from
- Bonino, F. A., Muñoz, E. J. M., Barbará, M. M., & Carmona, C. C. (2010). *Industria conservera*. Argentina.
- Briede, J., & Alarcón, J. (2012). Estrategias sustentables aplicadas al contexto regional: diseño de tableros de madera y materias primas no convencionales para revestimiento decorativo. Chile.
- Brundtland, G. H. (1987). *Brundtland report. Our common future*. Retrieved from
- Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. Argentina.
- Cervantes, G., Sosa, R., Rodríguez, G., & Robles, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Ingeniería Revista Académica*, 13.

- Chirinos Lozada, L. (1996). *Determinación del índice de madurez y capacidad de conservación en 6 variedades de durazno*. (Grado de ingeniería agrícola), Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- Clemons, C. (2002). Wood-plastic composites in the United States; the interfacing of two industries. *Forest products journal*, 52.
- CONAMA. (1998). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria procesadora de frutas y hortalizas*. Chile.
- Conama. (2005). *Política de gestión integral de residuos sólidos*. Chile.
- CONICYT. (2007). El sector frutícola en Chile: Capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico In U. europea (Ed.). Chile.
- Danielletrofe. (2016). Mush-bloom standard planters. Retrieved from <http://danielletrofe.com/>
- Ednesajjad, S. (2008). *Adhesives technology handbook* (Segunda edición ed.). Estados Unidos: William Andrew Inc.
- euita.upv.es. (2016). In E. f. drupa (Ed.).
- FAO. (1997). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997* (Vol. 30). Roma.
- Frihart, C. (2005). Wood adhesion and adhesives. In R. M. Rowell (Ed.), *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton.
- Frosch, R., & Gallpopoulos, N. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific american*, 144-152.
- Gratacós, E. (s.f). *El cultivo del duraznero*. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Husque. (2016). Husque home. Retrieved from <http://www.husque.com/>
- IdeaConsultora. (2012). Actualización del catastro de la agroindustria hortofrutícola chilena Chile: ODEPA.
- INN. (1988). Madera-Parte 2: Determinación de la densidad (Vol. NCh 176/2.Of86). Chile.
- Kirei. (2016). Home. Retrieved from <http://kireiusa.com/>
- Madrid, H., & Aguirre, M. F. (Producer). (2013). Materiales sustentables, el siguiente paso para ser más verdes.
- Matrec. (2015). Retrieved from <http://www.matrec.com/materiali>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: rediseñando la forma en que hacemos las cosas* (1a. ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- MinisterioDelMedioAmbiente. (2011). *Informe del estado del medio ambiente 2011*. Chile.
- Molina, A. (2016) *Caracterización carozo de durazno/Interviewer: J. Molina*.
- Molina, J., Parodi, D., & Pizarro, C. (2015). Gestión integral de residuos. Chile.
- ODEPA. (2005). *Agricultura Chilena 2014 una perspectiva de mediano plazo*. Chile.
- ODEPA. (2012). *Situación de la industria conservera en Chile*. Chile.
- ODEPA. (2013). *Panorama de la Agricultura Chilena* (2013 ed.).
- ODEPA. (2015). *Frutas y hortalizas procesadas*. Retrieved from <http://www.odepa.cl/rubro/frutas-y-hortalizas-procesadas/>
- Oyarzún, P., Ballerini, A., Gacitúa, W., & Ribera, E. (2002). *Estudio científico tecnológico de compuestos madera-plástico*. Paper presented at the Congreso ibero-americano de pesquisa e desenvolvimento de produtos florestais, Curitiba PR, Brasil.
- Petroquim. (2016). Ficha técnica PH 0322. In Petroquim (Ed.). Chile.
- Prevenblog. (2015a). Sistema de producción cíclico.
- Prevenblog. (2015b). Sistema de producción lineal.
- ProChile. (2015). *Sustentabilidad*. Retrieved from <http://www.prochile.gob.cl/sustentabilidad/sustentabilidad/>

- Quiles, A., Boschín, E., Cerioni, J., García, J., Santisteban, J., & Camera, M. (s.f). Utilización de la biomasa regional como energías alternativas. Retrieved from
- Raisman, J., & Gonzalez, A. (s.f.). Esclerénquima Morfología de plantas vasculares. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Reyes, C. (2016a). Carozos de durazno. In carozo (Ed.).
- Reyes, C. (2016b). Material orgánico. In orgánico (Ed.).
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro *Biotechnología*, 16.
- Soto Paredes, F. (2007). *Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado*. (Ingeniería civil industrial), Universidad de Chile, Chile.
- StoneFruitFloors. (2015). Gallery. Retrieved from http://stonefruitfloors.com/component/option,com_rsgallery2/Itemid,26/
- Unep.org. (2016). About.
- Wechsler, A. (2013). *Sustainable particleboards: Renewable building materials from agricultural and forestry by-products*. (Doctor of philosophy), The University of New South Wales, Australia.
- Wolcott, M. P. (2001). Wood-plastic composites: Elsevier Science.
- Wu, S. (1982). *Polymer interface and adhesion*. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc.

ANEXOS



ANEXO 1

Carozos como desechos de la industria de procesamiento de conservas



Figura 79: a. Zona de disposición de carozos. b. Almacenamiento de carozos de durazno, recién dispuestos (Reyes, 2016a).



Figura 78: Almacenamiento de material orgánico de durazno (Reyes, 2016b).



Figura 80: a. Muestra de carozos luego de meses. Elaboración propia.

ANEXO 2

Pauta de entrevista a Agrofoods Central Valley

ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA

OBJETIVOS DE LA ENTREVISTA

Objetivo General

Establecer un catastro de los principales residuos sólidos orgánicos del proceso productivo de la agroindustria frutícola conservera, en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Maule.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el proceso productivo de la agroindustria frutícola conservera, en las regiones Metropolitana, de O'Higgins y del Maule
2. Identificar los principales residuos sólidos orgánicos del proceso productivo de la agroindustria frutícola conservera, en las regiones Metropolitana, de O'Higgins y del Maule.
3. Conocer el estado físico, tratamiento y disposición final de los principales residuos sólidos orgánicos del proceso productivo de la agroindustria frutícola conservera, en las regiones Metropolitana, de O'Higgins y del Maule.

ANTECEDENTES CORPORATIVOS

Empresa			
Rubro		RUT	
Planta		Código	
Región		Provincia	
Comuna			
Dirección			
Teléfono			
Sitio Web			
E-Mail			

ANTECEDENTES INDIVIDUALES

Datos Entrevistado(a)

Nombre			
Cargo			
E-Mail		Teléfono	

Datos Entrevistador

Nombre			
Cargo			
E-Mail		Teléfono	

CONFORMIDAD

Realización: SÍ - NO	
Fecha Entrevista	
Lugar	

DESARROLLO DE ENTREVISTA

1. SOBRE LA PRODUCCIÓN

1.1. ¿Qué productos se procesan?

a. Aceituna cruda	r. Durazno en conserva
b. Aceituna cruda en salmuera	s. Durazno en conserva entero
c. Aceituna en conserva	t. Durazno en mitades
d. Aceituna negra en salmuera	u. Hongo en conserva
e. Aceituna sevillana	v. Mermelada de frutilla
f. Ají en conserva	w. Mermelada de mora
g. Alcachofa en conserva	x. Mermelada de fruta
h. Alcachofa en cuartos	y. Murtilla en almíbar
i. Arveja en conserva	z. Papaya en conserva
j. Castaña en almíbar	aa. Pasta de aceituna
k. Cereza en conserva	bb. Pasta de tomate
l. Cereza marrasquino	cc. Pera en conserva
m. Cereza sulfitada	dd. Preparado de frutas
n. Cereza sulfitada con palo y carozo	ee. Pulpa de frutilla
o. Cereza sulfitada entera con palo y carozo	gg. Puré de lúcuma
q. Concentrado de pera	h. Puré de pera (postre)

Otros: _____

1.2. En la línea productiva frutícola, ¿Cuántos procesos productivos distintos poseen y cuáles son los principales?

N° Procesos	
-------------	--

Descripción De Procesos

PROCESO	DESCRIPCIÓN

--	--

1.3. ¿Qué etapas consideran estos procesos productivos?

Etapas De Procesos

PROCESO	ETAPAS

2. SOBRE LOS RESIDUOS

2.1. Dentro de la cadena productiva, ¿Qué residuos* sólidos orgánicos se generan?

(*) Se consideran *Residuos Sólidos Orgánicos* a los materiales de origen animal o vegetal en estado sólido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social.

2.2. ¿En qué etapa del proceso se generan los residuos sólidos orgánicos?

Generación de Residuos Sólidos Orgánicos

ETAPA	RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

2.3. ¿Qué cantidad de residuos sólidos orgánicos se generan? (Volumen, peso)

2.4. ¿En qué condiciones se encuentran los residuos sólidos orgánicos al momento de ser generados? (Seco, húmedo, sucio)

Condiciones o Estado de Residuos Sólidos Orgánicos

RESIDUO	CONDICIONES POST-GENERACIÓN

3. SOBRE EL ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

3.1. ¿Cómo se transportan los residuos sólidos orgánicos desde el lugar de origen al de almacenamiento?

3.2. ¿Dónde se almacenan los residuos sólidos orgánicos? ¿Qué características tiene el lugar donde se almacenan? (Techado, aislación, luz natural o artificial)

3.3. ¿Cuál es el destino final de los residuos sólidos orgánicos?

TIPO DE RESIDUO	VENTA	VERTEDERO	COMPOSTAJE	PLANTA TRATAMIENTO	OTRO

Si es otro, ¿cuál? _____

FIRMA ENTREVISTADOR

ANEXO 3

Protocolo ética



Santiago, Diciembre 22 del 2015

CERTIFICADO

El Comité de Ética de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, ha revisado el proyecto de investigación del Concurso U-Inicia VID 2014 denominado: *“Desarrollo de materiales sustentables basados en sub-productos de la agricultura, forestales o de pos consumo”*, cuya investigadora responsable es la Prof. Dra. Andrea Wechsler Pizarro.

En base a los antecedentes revisados, los cuales se detallan en el Acta adjunto, este Comité aprueba el Protocolo de Investigación enviado para su evaluación.

MARCELA PIZZI KIRSCHBAUM
DECANA
Presidente Comité de Evaluación Ético Científico
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad de Chile

ANEXO 4

Ficha técnica polipropileno PH 0322

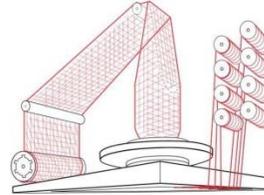


PH 0322
PP HOMOPOLÍMERO

PROCESO: EXTRUSIÓN RAFIA

Indicado para procesos de extrusión de rafia de alta velocidad. Presenta buena procesabilidad y productividad, tanto en extrusión como en telares. Posee un excelente desempeño en procesos de tejeduría, minimizando la formación de polvo y pelusas.

Aplicaciones: Sacos, Big – bags, Bases para alfombras, Bases para césped artificial



RECOMENDACIONES DE PROCESAMIENTO

EXTRUSION RAFIA

Proceso matriz plana:	
Alimentación	180 °C
Tornillo	230 a 250 °C
Filtro	210 a 240 °C
Adaptador	265 °C
Matriz	260 °C

PROPIEDADES

Propiedades Típicas	Ensayos ASTM	Unidades	Valor
Índice de Fluidez 2,16 kg/230 °C	D-1238/10	g/10 min	3,8
Temperatura de Ablandamiento VICAT (1 kg)	D-1525/09	°C	156
Temperatura de Deformación Térmica – HDT (455 kPa)	D-648/07	°C	90
Resistencia al Impacto IZOD a 23 °C	D-256/10	J/m	58
Resistencia a la Tracción (en el punto de fluencia)	D-638/10	MPa	35
Elongación (en el punto de fluencia)	D-638/10	%	12
Módulo de Elasticidad en Flexión	D-790/10	MPa	1.500

La Densidad de todos los grados de polipropileno producidos por Petroquim S.A. se encuentran en el rango de 0,905 +/- 0,005 g/cc

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

- Este polímero cumple con las especificaciones del FDA (Food and Drug Administration), de acuerdo con el Code of Regulations Title 21, Part 177-1520. Por lo tanto, puede ser utilizado en embalajes que tengan contacto con alimentos. Los respectivos certificados FDA de cada producto se encuentran disponibles en www.petroquim.cl. Adicionalmente cumple con Reglamento (UE) N°10/2011 y Normativa del Mercosur GMC-RES. N° 32/07.
- Los datos listados corresponden a valores típicos medidos en nuestro laboratorio, y deben ser entendidos sólo como una guía en la selección y procesamiento de la resina. Por este motivo, antes de utilizar cualquier material producido por Petroquim S.A., se recomienda a cada usuario realizar, con el apoyo de nuestros técnicos especializados, las pruebas necesarias para determinar que dicho producto es adecuado para el uso previsto.
- Los usuarios deben asegurarse también que pueden usar los productos Petroquim con las medidas legales y de seguridad necesaria (la ficha de seguridad se encuentra disponible en nuestra página web www.petroquim.cl).
- Petroquim S.A., declina de toda responsabilidad que pueda surgir del mal uso directo o indirecto de esta información.
- Los valores entregados anteriormente pueden ser modificados sin previa comunicación.
- Esta versión anula y reemplaza a las ediciones anteriores.

Revisión: May/2016

e-mail: info@petroquim.cl
Hernando de Aguirre 268
Providencia - Santiago - Chile
Fono: 56-2-23516700
www.petroquim.cl