

# **“DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DEL RESIDUO CÁSCARA DE NUEZ”**

Memoria para optar al título profesional de Diseñadora industrial

Autor: Daniella Parodi Miranda

Profesor guía: Pablo Domínguez González

Año 2016







## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por su apoyo incondicional, por confiar en mí y permitirme ser libre para cumplir cada uno de mis sueños; a Giovanni, por acompañarme pacientemente, entregarme alegría y compartir la vida.

A mis amigos y compañeros que dedicaron parte de su tiempo en ayudarme.

Al equipo de Ecodiseño.cl por abrirme sus puertas en todo momento. A Manuel Yuffer por las fotografías.

A los laboratorios de ingeniería mecánica de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), al laboratorio de Climatización de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), por ayudar en los ensayos del material.

Y finalmente a Pablo, mi profesor guía, por su buena disposición y ganas de ayudar en este camino.



*“El mundo no puede evolucionar más allá de la actual situación de crisis utilizando el mismo pensamiento que creó esta situación”*

Albert Einstein



## RESUMEN

El presente tiene como objetivo diseñar un innovador material biodegradable que presenta como elemento principal la cáscara de nuez de Nogal, un residuo de la agroindustria Chilena. La cáscara está constituida de celulosa, hemicelulosa y lignina, se extrae en el proceso de pelado de la nuez, representa entre un 40% y 65% del peso del fruto. Dado su bajo costo, su naturaleza biodegradable y su disponibilidad durante todo el año, la cáscara de nuez es una potente materia prima con múltiples oportunidades para el diseño.

A través de los años, la cáscara de nuez como desecho ha incrementado de gran manera su volumen en Chile, esto dado que el país se ha posicionado como uno de los mayores productores de nuez a nivel mundial (Sofofa, 2015). Sin embargo no se le ha dado la importancia adecuada como materia prima, hoy en día se utiliza principalmente para rellenar caminos, granallado o como combustible.

Este trabajo se centra en una investigación experimental que consta de cuatro fases. En la primera la cáscara se tritura para conseguir granulometrías y se mezcla con diversos aglutinantes biodegradables en distintas proporciones. Luego de combinar estas variables se elaboran probetas de estudio. La segunda consiste en someter las muestras a ensayos mecánicos, térmicos, de comportamiento al fuego y de mecanizado con distintas herramientas con el fin de identificar las características y comportamiento del compuesto. En la tercera fase se exploran diversas morfologías con el material compuesto, evaluando sus posibilidades constructivas.

Finalmente se analiza el ciclo de vida del proceso del material (de la puerta a la puerta); con el fin identificar su huella de carbono y ambiental, detectando posibles ineficiencias.

Los resultados muestran que es un material liviano, con destacadas características de resistencia térmica, no tóxico, que se puede conformar a partir de moldes y herramientas comunes en la industria. Además de lo anterior requiere bajo nivel de tecnología y energía para ser procesado, presenta bajo costo, genera una mínima cantidad de desperdicios, y posee un ciclo de vida circular al ser biodegradable, por lo que se considera que presenta una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos.

**Palabras claves:** cáscara de nuez, biodegradable, ciclo de vida, experimentación de materiales, diseño sostenible.



## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17	2.4.2 Utilización de la cáscara de nuez .....	42
Objetivos .....	19		
Objetivo general:.....	19	CAPÍTULO 3: DISEÑO DE NUEVOS MATERIALES.....	47
Objetivos específicos: .....	19	3.1 Materiales compuestos.....	49
Metodología .....	19	3.1.1 Materiales compuestos para un ciclo de vida circular	50
CAPÍTULO 1: DESARROLLO SOSTENIBLE .....	21	3.2 Utilización de la cáscara de nuez como materia prima para materiales .....	55
1.1 Hacia un desarrollo sostenible. ....	23	3.3 Requerimientos para un material compuesto biodegradable a partir de cáscara de nuez. ....	57
1.2 Ecología industrial .....	24	3.3.1 Aglomerantes biodegradables .....	58
1.3 Ecoefectividad y de la Cuna a la Cuna.....	24		
1.4 Diseño para la sostenibilidad.....	25	CAPÍTULO 4: EXPERIMENTACIÓN.....	65
1.4.1 Ecodiseño.....	26	4.1 Metodología de la experimentación .....	67
CAPÍTULO 2: DEL NOGAL A LA CÁSCARA DE NUEZ. ....	27	4.2 Desarrollo de la experimentación .....	69
2.1 Chile y el sector de la agroindustria hortofrutícola....	29	FASE 1: Exploración de la materia prima .....	69
2.2 Chile, productor y exportador de nueces.....	30	Experimentación 1.....	70
2.3 La nuez de Nogal.....	33	Experimentación 2.....	75
2.3.1 El Nogal.....	33		
2.3.2 Caracterización de la Nuez .....	35	CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL .....	85
2.3.3 Procesamiento de la industria de la Nuez .....	36	FASE 2: Pruebas y ensayos.....	87
2.3.4 Residuos del procesamiento de la Nuez.....	39	5.1 Pruebas de mecanizado .....	88
2.4 El residuo Cáscara de Nuez .....	40	5.2 Ensayos .....	93
2.4.1 Características y composición de la cáscara.....	40	5.2.1 Ensayos mecánicos .....	93
		5.2.2 Ensayo térmico .....	99

5.2.3 Comportamiento al fuego.....	106
5.2.4 Absorción de humedad y determinación de la hinchazón de espesor luego de inmersión en agua.....	109
FASE 3: Exploración a partir de moldeado .....	112
Molde 1: Doble Parábola .....	116
Molde 2: Semiesfera .....	118
Molde 3: Triple Curvatura .....	120
CAPÍTULO 6: ACV DEL MATERIAL.....	123
FASE 4: Análisis de ciclo de vida.....	125

6.1 Pasos para un Análisis de ciclo de vida .....	126
6.2 Aplicación del ACV en el compuesto.....	127
CONCLUSIONES .....	132
PROYECCIONES .....	135
LISTA DE REFERENCIAS.....	137
ANEXOS .....	141

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Ecología industrial y sus componentes. Adaptado de (Capuz & Gómez, 2004) .....	24
Figura 2: Gráfico Superficies plantadas de frutales de nuez. Elaboración propia basada en (INE, 2007). .....	30
Figura 3: Superficie cultivada de nuez de nogal por región. Obtenido de INE, Censo Agropecuario 2007. Elaboración propia .....	31
Figura 4: Productores de nueces. Fuente: Elaboración propia, basado en (iQonsulting, 2016).....	32
Figura 5: Gráfico porcentaje según superficie para cada variedad. Elaboración propia, basado en ODEPA & CIREN, 2014.....	34
Figura 6: Capas del fruto. Elaboración propia.....	35
Figura 7: Disponibilidad de nueces durante el año.....	37
Figura 8: Procesamiento Nuez de Nogal. Elaboración propia.....	38
Figura 9: Gráfico residuos del procesamiento de la nuez. Elaboración propia, basado en (iQonsulting, 2016).....	39
Figura 10: Origen de los materiales. Elaborado a partir de Matrec. ....	51
Figura 11: Aglomerantes biodegradables según su origen, utilizados en la experimentación. Elaboración propia.....	59
Figura 12: Aloe vera. Modificado de (Ferraro, 2009). .....	60
Figura 13: a. molinillo eléctrico de maíz; b. placa tamizadora 12 mm; c. placa 3mm .....	70
Figura 14: Sensores de humedad con Arduino en probetas. Elaboración propia.....	76
Figura 15: Proceso y Tiempo de secado. Elaboración propia.....	80
Figura 16: Contenedor ensamblable. ....	80
Figura 17: A. Corte con esmeril; B.Esmeril .....	89
Figura 18: A. Corte sierra ingleteadora; b.Resultado. ....	89
Figura 19: Corte con sierra de huincha;B. Resultado .....	89
Figura 20: A. Probeta prueba corte láser; B. Probetas corte láser. ....	90
Figura 21: A. Perforado con taladro de pedestal; B. Perforaciones taladro manual.....	91
Figura 22:A. Torneado con escofina ; B. Resultado en probeta... ..	92
Figura 23: A. Uso de Lima; B. Escofina; C. Escofina cilíndrica. ....	92
Figura 24: A. Muestras previo a las pruebas (cortadas con láser). Elaboración propia; B. Equipamiento para ensayos de tracción y compresión. Elaboración propia.....	93
Figura 25: Muestra en compresión. Elaboración propia. ....	94
Figura 26: Máquina de ensayo flexión. Elaboración propia.....	94
Figura 27: A.Tracción 60-40%; B.Tracción 70-30% .....	95
Figura 28: A. Compresión 60-40%; B.Compresión 70-30%.....	95
Figura 29: A. Flexión 60-40%; B. Flexión 70-30% .....	96
Figura 30: Ducto con flujo de aire y posición de las probetas. Elaboración propia.....	99
Figura 31: A. Ducto para ensayo; B. Zona inicio y ventilador;... ..	102
Figura 32: Gráfico conductividad térmica diversos materiales .....	105
Figura 33: Gráfico conductividad térmica en maderas .....	105
Figura 34: Ensayo comportamiento al fuego.....	107
Figura 35: A. Probetas previo al ensayo; .....	107
Figura 36: Probeta 1; Probeta 2. En ambas se presenta cara superior e inferior respectivamente. ....	108
Figura 37: Probeta 3; Probeta 4. En ambas se presenta cara superior e inferior respectivamente. ....	108
Figura 38: A. Probetas sumergidas; B. Termómetro que indica los 20°C para realizar el ensayo. ....	109
Figura 39: Probetas familia 2 (70-30%) a lo largo del tiempo en ensayo de absorción de humedad. ....	111
Figura 40: Moldes del área de la cocina. ....	113
Figura 41: Molde ensamblable, MDF-acrílico.....	113
Figura 42: Molde ensamblable, MDF.....	113
Figura 43: Prototipos obtenidos .....	114
Figura 44: Hexagono a partir de molde de MDF. ....	115



Figura 45: Cilindro a partir de molde de aluminio.....	115
Figura 46: A. Vista lateral; B. Vista superior. ....	115
Figura 47: Molde doble parábola.....	116
Figura 48: Prototipo molde 1, 1cm de espesor.....	117
Figura 49: Molde Semiesfera .....	118
Figura 50: Prototipo molde 2, 1cm de espesor.....	119
Figura 51: Molde triple curvatura .....	120
Figura 52: Prototipo molde 3 .....	121
Figura 53: Diagrama ciclo de vida. Obtenido de ecodiseño.cl...	125
Figura 54: Norma ISO 14040, Etapas de un ACV. Adaptado de (AENOR, 2006).....	126
Figura 55: Diagrama ciclo de vida. Elaboración propia. ....	127

Figura 56: Etapas del Ciclo de vida. Elaboración propia. ....	128
Figura 57: Gráfico huella del producto en etapas del ciclo de vida. Elaboración propia.....	131
Figura 58: Gráfico huella del producto en etapas de producción. Elaboración propia.....	131
Figura 59: Paso de luz en probeta de 5 mm espesor.....	133
Figura 60: Proceso de degradación natural con humedad en la tierra.....	134
Figura 61: Proceso de degradación natural a partir de vermicompostaje .....	134



## INDICE TABLAS

Tabla 1: Producción Chilena de nueces.....	32
Tabla 2: Principales exportadores a nivel nacional.....	32
Tabla 3: Composición cáscara de nuez (g/100 g de peso seco) .	40
Tabla 4: Uso de la cáscara de nuez, estado del arte .....	42
Tabla 5: Ventajas compuestos a partir de fibras vegetales. ....	49
Tabla 6: Estado del arte de materiales biodegradables a partir de residuos agroindustriales. ....	53
Tabla 7: Requerimientos para el compuesto biodegradable de cáscara de nuez, según etapas del ciclo de vida. ....	57
Tabla 8: Requerimientos para la selección de aglomerantes, según las etapas del ciclo de vida.....	58
Tabla 9: Metodología experimentación.....	68
Tabla 10: Granulometrías experimentación 1 .....	70
Tabla 11: Aglutinantes experimentación 1.....	70
Tabla 12: Criterios para selección de muestras. ....	71
Tabla 13: Resumen resultados experimentación 1.....	72
Tabla 14: Selección de aglutinantes según criterios.....	74
Tabla 15: Granulometrías Experimentación 2.....	75
Tabla 16: Aglutinantes Experimentación 2. ....	75
Tabla 17: Resumen resultados experimentación 2.....	77
Tabla 18: Selección de aglutinantes según criterios.....	78
Tabla 19: Experimentación cáscara con PVAc. ....	79
Tabla 20: Clases según defectos en el material.....	88
Tabla 21: Datos iniciales ensayos mecánicos. ....	93
Tabla 22: Set 1 (60-40%) .....	94
Tabla 23: Set 2 (70-30%) .....	94
Tabla 24: Materiales similares en cuanto a esfuerzo de fluencia/densidad.....	97
Tabla 25: Materiales similares en cuanto a esfuerzo de fluencia/densidad.....	98
Tabla 26: Materiales similares en cuanto a esfuerzo de fluencia/densidad.....	98
Tabla 27: Materiales similares en cuanto a módulo elástico/densidad .....	98
Tabla 28: Familia 1 (60-40%) .....	101
Tabla 29: Familia 2 (70-30%) .....	101
Tabla 30: Conductividad térmica según proporciones .....	102
Tabla 31: Conductividad térmica del compuesto y similares....	103
Tabla 32: Conductividad térmica de las maderas.....	104
Tabla 33: Conductividad térmica de diversos materiales.....	104
Tabla 34: Resultados absorción de humedad 60-40%.....	110
Tabla 35: Resultados absorción de humedad 70-30%.....	110
Tabla 36: Inventario ACV según etapas ciclo de vida.....	129
Tabla 37: Inventario ACV según etapas de producción .....	129





## INTRODUCCIÓN

Si nos detenemos a mirar nuestro planeta, podremos darnos cuenta de que existe un grave deterioro medio ambiental y un desequilibrio en la interacción de los seres humanos entre ellos y con su entorno. Estamos ante un problema global, una crisis que no solo es ambiental, sino que concibe nuestra concepción de sociedad al observar la destrucción de múltiples ecosistemas, la contaminación global, escasez de agua, agotamiento de recursos, de reservas energéticas, aumento de costos, entre otros.

Hoy, *“el humano utiliza 1,4 planetas cada año, lo que quiere decir que la tierra tarda un año y cinco meses en regenerar lo que utilizamos en un año”* (GlobalFootprintNetwork, S.f). Los recursos se convierten en desechos en un tiempo menor que lo que se demoran en volverse recursos.

El daño ha sido causado por el modelo social, técnico y económico que impera actualmente y en el que se ha hecho un mal uso de los recursos. Se incentiva un consumo excesivo, se tiende a la obsolescencia programada lo que por ejemplo demuestra la forma de operar que tienen las industrias, quienes desempeñan un papel protagónico en el desarrollo de las sociedades, pues promueven avances en tecnología y entregan productos y servicios a los ciudadanos. Sin embargo, al funcionar de manera lineal eliminan gran cantidad de residuos que llegan a la biosfera, por tanto la industria resulta ser una de las principales fuentes de impacto ambiental (Capuz & Gómez, 2004)

Si bien existe conciencia del funcionamiento económico-productivo lineal, aún existen pocas medidas de cambio para mejorar y solucionar la situación actual, y quienes participan de los procesos industriales pueden llegar a ser agentes importantes a la hora de alcanzar un desarrollo sostenible. El derecho de defender y mejorar el Medio Ambiente para las generaciones

presentes y futuras, se ha convertido en un objetivo primordial para el hombre

El desarrollo sostenible busca romper el modelo de producción lineal causante de gran cantidad de toneladas de basura inservible, para funcionar de manera eficiente y sin desechos.

Con el fin de reparar los daños, surgen paradigmas para avanzar hacia el desarrollo sostenible, uno de ellos es la ecología industrial que busca entender como funciona el sistema industrial, sus regulaciones y su interacción con la biosfera para desde la ecoeficiencia, minimizar el volumen, velocidad y toxicidad, aumentando la productividad de los recursos y la vida útil de los productos bajo una progresión lineal de la cuna a la tumba. Luego surge un modelo integrado que apunta a un desarrollo sostenible en todos sus sentidos y a largo plazo “de la cuna a la cuna” planteado por Braungart y McDonough, el cual trabaja desde la ecoefectividad y busca imitar a la naturaleza actuando de manera sistémica y sin generar residuos, incorporando un equilibrio entre economía, equidad y ecología en el diseño y desarrollo (McDonough & Braungart, 2005)

Sin embargo el problema de generación de residuos y el impacto de estos en el medio ambiente y la salud humana es consecuencia de un proceso que tiene como etapa inicial su diseño, pues gran parte de la carga ambiental de un producto o servicio se define al momento de diseñar el producto (agencia federal del medio ambiente, s.f.). Por tanto surge la necesidad de pensar en el diseñador como agente para un desarrollo sostenible.

Una de las metodologías que está teniendo mayor aceptación por parte de la industria es el diseño respetuoso con el medio ambiente o ecodiseño, metodología que se aplica en el diseño de productos y servicios, con el fin de minimizar el impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida (Ecodiseño.cl, s.f.)



Si se analiza el ciclo de vida de un producto o servicio, las etapas a considerar corresponden a obtención de recursos naturales, materias primas, producción, distribución y venta, uso, mantención, para finalizar con la disposición y gestión de ciclo de este, pues ya se ha transformado en un residuo y ha llegado al fin de su vida. Fin de vida que en un ciclo circular implica la utilización de estos residuos, convirtiéndolos en una nueva materia prima, para iniciar un nuevo ciclo.

*“En la actualidad ha surgido una nueva corriente de pensamiento ecológico que en un futuro cambiará los sistemas productivos y los materiales de los objetos que conocemos hoy en día” (Mendez & Silva, 2009)*

En el plano local, Chile es un país que está aprendiendo y avanzando en cuanto a materias de medio ambiente y sostenibilidad. Aunque aún existe una falta de cultura, educación y normativas, cada vez hay más interés, información y se suman iniciativas a favor del medio ambiente.

Recientemente se aprobó la ley marco para la gestión de residuos y la responsabilidad extendida al productor, la cual busca *“disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente”*(MMA, s.f). En base al mismo tema en 2015 se realizó la segunda encuesta nacional del medio ambiente, la cual mostró interés de la ciudadanía hacia temas de esta índole. En esta un 99% de los encuestados afirman que les gustaría que la etiqueta de los productos que compran indique su impacto ambiental a nivel nacional. Para un 42%, las industrias se configuran como una de los principales causantes de la contaminación (MinisterioDelMedioAmbiente, 2015)

Por otra parte, se trata de un país que cuenta con una riqueza de recursos naturales envidiables. La explotación de sus recursos ha

sido la base de su economía y actualmente gracias a la apertura comercial, ha aumentado la variedad de recursos que exporta. *“Según un estudio del Boston Consulting Group, alrededor de la mitad de los sectores económicos de Chile con más proyección de crecimiento está en el rubro de alimentos”* (“Chile, Oportunidades en la agroindustria,” 2010). El sector de alimentos procesados ha crecido de manera significativa en los últimos años, la mayor parte corresponde a procesados frutícolas y hortícolas, y dentro de ellos la importante industria de frutos secos. (“Chile, Oportunidades en la agroindustria,” 2010).

La industria chilena de frutos secos incluye como principales especies nueces de nogal y almendras. Las nueces forman parte de un mercado que mundialmente ha experimentado un aumento sostenido en los últimos años, su consumo se ha incrementado desde fines de los años '90 como resultado del aumento del ingreso y la tendencia al consumo de productos naturales, sobre todo en los países más ricos. (Fundación para la Innovación Agraria, 2007), situación que ha repercutido de buena manera en Chile, convirtiéndolo en el sexto productor y el tercer exportador mundial de nueces (Sofofa, 2015). Esta situación deja como residuo alrededor de 22.784 toneladas de cáscara al año (iQonsulting, 2016), sin embargo no se le ha dado la importancia adecuada como materia prima, hoy en día se utiliza principalmente para rellenar caminos, granallado o como combustible.

Es aquí donde se ha detectado una importante oportunidad en el aprovechamiento del residuo de cáscara de nuez como materia prima principal para el desarrollo de un material compuesto biodegradable que cumpla con un ciclo de vida circular.

La cáscara corresponde a un material lignocelulósico, está constituida de celulosa, hemicelulosa y lignina, se extrae en el proceso de pelado de la nuez, representa entre un 50% del peso del fruto seco y requiere bajo nivel de tecnología y energía para



ser reprocesado pues se obtiene limpia y seca. Dado su bajo costo, su naturaleza biodegradable y su disponibilidad durante todo el año, la cáscara de nuez es una potente materia prima con múltiples oportunidades para el diseño

## Objetivos

### Objetivo general:

Desarrollar un material compuesto biodegradable a partir de la utilización del residuo cáscara de nuez como materia principal.

### Objetivos específicos:

-Establecer el proceso de elaboración de un material compuesto en base al residuo cáscara de nuez y un aglomerante biodegradable.

-Evaluar las características físico mecánicas del material a través de la realización de pruebas mecánicas, térmicas, comportamiento al fuego y de mecanizado.

-Evaluar las posibilidades constructivas de material compuesto a través de moldes de doble y triple curvatura

-Analizar el ciclo de vida del proceso de conformado del material para identificar la huella de carbono y ambiental.

## Metodología

La presente investigación consta de dos etapas fundamentales. La primera etapa es descriptiva y tiene como finalidad identificar y conocer la industria de nueces en Chile y caracterizar la cáscara de nuez. Para esto se realizó análisis documental a través de revisión de literatura y trabajo de campo para conocer in situ el material y sus procesos.

La segunda etapa es experimental y consta de cuatro fases. En la primera fase con el objetivo de establecer el proceso de elaboración de un material compuesto en base al residuo cáscara de nuez, esta se tritura y tamiza para conseguir diferentes granulometrías, luego se mezcla con diversos aglutinantes y distintas proporciones. En la fase dos el material se somete a diversos ensayos para evaluar sus características físico mecánicas a través de la realización de pruebas mecánicas, térmicas, comportamiento al fuego y de mecanizado. En la fase tres se evalúa la posibilidad de conformar el material a partir de moldeado y finalmente en la fase cuatro se analiza el ciclo de vida del proceso de conformado del material para identificar su huella de carbono y ambiental.





The background of the entire slide is a dense, close-up photograph of many walnuts. The walnuts are light brown with their characteristic deeply textured, wrinkled shells. They are scattered across the frame, creating a rich, natural texture. A semi-transparent grey horizontal band runs across the middle of the image, serving as a backdrop for the text.

# Capítulo 1

---

## **DESARROLLO SOSTENIBLE**



## 1.1 Hacia un desarrollo sostenible.

En las últimas décadas, el planeta se ha deteriorado sensiblemente y los problemas sociales han llevado a un mundo injustamente repartido y falta de equidad (Novo, 2006). La crisis ecológica en los ecosistemas, ha sido causada y acelerada por los seres humanos a través de las prácticas productivas para cubrir las necesidades materiales y de supervivencia de la población, en una cultura de acumulación (González López, 2002), lo cual nos fuerza a reflexionar, pero también a cambiar las pautas de uso y consumo de los recursos (Novo, 2006).

Hace más de 30 años, de manera progresiva, surge la preocupación por parte de diferentes actores sociales, por el cuidado del medio ambiente, pues se considera que hemos llegado a un momento en que debemos hacernos cargo de las acciones cotidianas y sus consecuencias en el medio, pues de éste último dependen nuestras vidas y bienestar. Con mayor conciencia y acciones responsables se puede conseguir mejores condiciones de vida, en armonía con las necesidades y aspiraciones del hombre, para las generaciones presentes y las que vendrán (Naciones Unidas, 1972). En esos años, los discursos sobre sostenibilidad eran innovadores, sin embargo hoy son parte del discurso común, ya que, aspirar a un desarrollo sostenible y cambiar la manera en que se están haciendo las cosas día a día, es un reto imperante para todos quienes pisamos el planeta tierra.

El término desarrollo sostenible, nace a raíz de los desequilibrios sociales, económicos y medioambientales, a partir de un grupo dependiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), en el debate político internacional en 1980, sin embargo no llega a aceptarse como un modelo de desarrollo universal hasta cuando la comisión Brundtland, siete años después publica el informe "Nuestro futuro común" (Our Common Future) y lo define como aquel que *"satisface las necesidades del*

*presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades"* (Capuz & Gómez, 2004).

Por tanto los agentes sociales que hoy conviven diariamente: ciudadanía, industria, naturaleza y administración tienen responsabilidades para avanzar hacia un desarrollo sostenible (Capuz & Gómez, 2004).

De los actores mencionados, la industria adquiere un papel importante en el desarrollo de las sociedades, es la principal fuente de impacto ambiental, lo cual se refiere a *"Toda alteración en el ambiente que afecte positivamente o negativamente la calidad de vida humana o que tenga impacto sobre las opciones del desarrollo económico-social en el área de influencia del proyecto"* (Capuz & Gómez, 2004), su dinámica de funcionamiento contribuye al agotamiento de recursos y también a la generación de residuos en volúmenes que generalmente exceden la capacidad de asimilación de la naturaleza. Por tanto a la hora de pensar en un desarrollo sostenible es clave intervenir en ella, promoviendo una producción y consumo sostenible junto a un enfoque ecosistémico, pues vivimos en un planeta que tiene límites (Capuz & Gómez, 2004).



## 1.2 Ecología industrial

Con el fin de minimizar los impactos ambientales de las emisiones de las industrias, surge la Ecología Industrial, la cual se fundamenta en tres estrategias (figura 1), el diseño respetuoso con el medio ambiente que es el ecodiseño, los procesos más limpios que son la estructura de los procesos industriales y la gestión medioambiental la cual se refiere a las políticas privadas y públicas que articulan estos procesos. Estrategias que dan origen, a un sistema ecoindustrial con una red de intercambio y relaciones no lineales (Cervantes, 2013).



Figura 1: Ecología industrial y sus componentes. Adaptado de (Capuz & Gómez, 2004)

La ecología industrial, intenta cerrar el ciclo de materia, y aproximarse a un nivel cero de residuos. Esto, se logra en cierta medida, tomando los residuos de una cierta industria y dándoles uso como materia prima de otra, como ocurre en los sistemas naturales (Cervantes, 2013).

Por tanto, busca hacer la industria más ecoeficiente y sostenible. Ecoeficiente, quiere decir que está orientada a reducir impacto ambiental, y la intensidad del uso de recursos en las distintas

etapas del ciclo de vida de productos o servicios, no solo busca hacer más con menos, si no que luego de implementar cambios, considera cuan viables son las mejoras y controla las características y calidad (Capuz & Gómez, 2004).

Por tanto, busca reducir el uso de materias primas y energía, reducir el daño a la salud humana y al medio ambiente, fomentar la reutilización y reciclabilidad de los materiales, la economía de servicios y estrategias ligadas al diseño y procesos de un producto. Desde la ecoeficiencia se busca minimizar el volumen, velocidad y toxicidad aumentando la productividad de los recursos y la vida útil de los productos bajo una progresión lineal “*de la cuna a la tumba*” (Capuz & Gómez, 2004).

Sin embargo, los cambios para prevenir daños al medio ambiente, van más allá de esto, hoy debemos dejar de funcionar bajo un flujo lineal de los materiales, con un ciclo en el cual se extraen recursos de la naturaleza, se transforman en productos, se utilizan y posteriormente se desechan.

Es necesario actuar desde la raíz del problema, no hacer las cosas incorrectas menos malas, si no que diseñar desde un principio los productos pensando en su fin de vida (McDonough & Braungart, 2005).

## 1.3 Ecoefectividad y de la Cuna a la Cuna.

La ecoefectividad, tal como plantean Braungart y McDonough, significa trabajar sobre las cosas correctas en lugar de hacer las cosas incorrectas menos malas (McDonough & Braungart, 2005), no solo se debe buscar el impacto cero, sino un modelo a partir de la innovación, que ayude a sanar al medio ambiente y permita el desarrollo sostenible en todos sus sentidos y a largo plazo.

Junto a estos conceptos y el afán de avanzar hacia un desarrollo sostenible, surge un modelo integrado que plantean los autores

recientemente mencionados, el “Cradle to cradle” (de la cuna a la cuna), el que propone un concepto totalmente nuevo del sistema de producción tradicional, apuntando a procesos más limpios; uno de los componentes presentes en la ecología industrial (Figura 1).

Lo que se requiere es insertar la idea de ecoefectividad y del equilibrio entre la economía, la equidad y la ecología en el centro del diseño y desarrollo.

La ecoefectividad, busca imitar a la naturaleza, la cual actúa de manera sistémica, todo es producto de un proceso metabólico, es útil para otros procesos y no existe concepto de residuo, *“todos los materiales, incluso sus más letales armas químicas, son biodegradables y, una vez devueltos a la tierra se convierten en nutrientes”* (McDonough & Braungart, 2005).

Siguiendo esta lógica, de la Cuna a la Cuna, propone un sistema productivo y de consumo donde Basura es igual a Alimento, es decir, los desperdicios desaparecen en un ciclo circular, convirtiéndose en un recurso, ya sea un nutriente técnico porque se convierte en alimento para la producción en otro ciclo o un nutriente biológico, porque se devuelve de manera segura al medio natural para alimentar procesos biológicos (McDonough & Braungart, 2005).

Siendo el nutriente técnico un material o producto que se diseñó para volver al ciclo técnico, como el aluminio, que actualmente llega a rellenos sanitarios, desperdiciando la oportunidad de volver a usarse. En otras ocasiones, su reciclaje es fallido, porque el material pierde propiedades o porque de todas maneras posteriormente llegará al basurero (McDonough & Braungart, 2005).

Y por su parte un nutriente biológico es aquel material que se diseñó para volver a un ciclo natural (McDonough & Braungart, 2005). Ingresan en este ciclo los productos biodegradables, que tras su uso son arrojados al suelo y consumidos por

microorganismos u otros animales, sin impactar o impactando positivamente (McDonough & Braungart, 2005).

## 1.4 Diseño para la sostenibilidad

Hoy, el hombre comienza a ser consciente de sus actos y las consecuencias que traen a su entorno, sin embargo la generación de residuos, es consecuencia de un proceso, que tiene como etapa inicial su diseño, la cual hasta hoy no siempre considera y evalúa el impacto ambiental en el ciclo de vida del producto; el sistema industrial con el que contamos actualmente, es lineal y se enfoca en fabricar productos para traspasarlos rápidamente al mercado económico y a un cliente, sin muchas más consideraciones (McDonough & Braungart, 2005). No obstante, si seguimos actuando como lo hemos hecho, seguiremos obteniendo lo que hemos obtenido.

Como segundo componente de la ecología industrial para el desarrollo sostenible (figura 1), se encuentra el diseño respetuoso con el medio ambiente. Sucede que la concepción de los productos compete a distintas disciplinas, sin embargo en mayor relevancia al diseñador industrial, pues la Agencia Federal Alemana del Medio Ambiente ha estimado que más del 80% de la carga ambiental de un producto o servicio se define en el momento de diseñar el producto.

Es por esto que la implicancia del diseñador va más allá de la creación de productos o servicios, pues puede contribuir en aspectos fundamentales de la vida humana ya sea en lo social, ambiental o cultural, los diseñadores pueden mejorar la calidad de vida e influir en el uso sostenible de los recursos a través de sus decisiones (Karana, Pedgley, & Rognoli, 2014).



### 1.4.1 Ecodiseño

Como respuesta a la necesidad de cambio que existe, comienza a darse más cabida al diseño para la sostenibilidad y al diseñador como agente para un desarrollo sostenible, ya que, los productos ya no son solo apreciados por su estética y funcionalidad, sino también por los impactos que provoca ya sea en el medioambiente o en la salud humana y la posibilidad que tienen de entrar en la economía circular. El diseño respetuoso con el medio ambiente (Design for environment) o ecodiseño es una de las metodologías que está teniendo mayor aceptación por parte de la industria. Esta metodología tal como se describe por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 2007, tiene como objetivo mejorar las ganancias y la competitividad para al mismo tiempo reducir impactos ambientales de productos o servicios, incluyendo también el componente social de la sostenibilidad, y la necesidad de desarrollar nuevas maneras para satisfacer las necesidades del consumidor de una forma menos intensiva con respecto a recursos. IHOBE (Sociedad pública de gestión ambiental del gobierno Vasco), lo define como *“una metodología que considera la variable ambiental como un criterio más a la hora de tomar decisiones en el proceso de diseño de productos industriales, adicionalmente a otros que tradicionalmente se han tenido en cuenta (costes, calidad, etc.)”* (IHOBE, s.f.).

Para alcanzar un modelo como el de la Cuna a la Cuna, es necesario que los productos y servicios se diseñen desde un principio pensando en su fin de vida, en un ciclo circular, para lo cual existen estrategias, herramientas y métodos que ayudan a lograrlo. Una de ellas es el análisis de ciclo de vida.

Todo lo que los diseñadores crean, posee un ciclo de vida el cual según la norma ISO 14040 se define como *“etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto desde la adquisición de materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final”*, este ciclo y cada una de sus etapas pueden ser estudiadas a través de estrategias como el ecodiseño para reducir impactos, desde la etapa de diseño; de esta manera se minimizan los impactos al medio ambiente, pero también aquellos que provienen de los procesos asociados al producto o servicio.

Con una herramienta como la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV), una de las oportunidades que tiene el diseñador para contribuir al desarrollo sostenible es intervenir desde las primeras etapas de creación, etapa en la que se toman decisiones muy importantes, pues cada materia prima que se utiliza tiene una impronta ambiental, la cual debiese conocerse desde los primeros pasos de diseño, en caso de no ser así, las demandas ambientales no son atendidas adecuadamente, la idea no se trata de corregir en el camino, si no hacer las cosas bien desde el principio



The background of the entire slide is a dense, close-up photograph of walnut shells. The shells are broken into small, irregular pieces, showing a range of brown colors from light tan to dark chocolate and near-black tones. The texture is highly detailed and repetitive across the entire frame.

## Capítulo 2

---

# DEL NOGAL A LA CÁSCARA DE NUEZ



## 2.1 Chile y el sector de la agroindustria hortofrutícola

En Chile, el sector de alimentos procesados ha crecido de manera significativa en los últimos años, dentro de ellos un 70% corresponde a procesados frutícolas y hortícolas. ("Chile, Oportunidades en la agroindustria," 2010). Este alto porcentaje se da, ya que el sector de la agroindustria hortofrutícola posee un comercio internacional bastante activo; las exportaciones han aumentado bastante los últimos años, ya que, más del 80% de las empresas de esta industria exporta en alguna proporción sus productos (IDEACONSULTORA, 2012).

El sector de procesamiento industrial de frutas y hortalizas considera cinco subsectores: congelados, deshidratados, conservas, jugos y aceites. De estos los que poseen actualmente mayor número de inversiones son los congelados con un 42,2% y le siguen los deshidratados presentando alrededor de un 28%. Por otra parte, de los países exportadores, considerando los valores exportados en 2009, Chile se destaca ocupando la posición número 8 en el comercio mundial de deshidratados (IDEACONSULTORA, 2012).

Dentro de los deshidratados, los principales frutos en cuanto a volumen producido son: uva, ciruela, nuez, almendra y manzana. Las plantas procesadoras se ubican principalmente en las regiones Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins. (IDEACONSULTORA, 2012).

Dentro de los mencionados, las nueces de nogal y almendras son los principales frutos de naturaleza seca que produce y exporta Chile, los cuales durante los últimos 15 años han aumentado notablemente sus cultivos y por ende producciones (figura 2).

Los frutos secos son los que han impulsado al país a destacarse como el productor del hemisferio Sur más importante, ubicándose en los primeros lugares de producción, procesamiento y

exportación de fruta deshidratada, lugar que no solo lo ha logrado con la cantidad que produce sino que también con su destacable calidad (ProChile, 2016).

Como se mencionó antes, la producción de productos deshidratados está orientada principalmente al mercado exportador, durante los tres últimos años las exportaciones de frutos secos chilenos se han duplicado en valor, aumentando desde US\$ 130 millones en 2009 a US\$ 273 millones en el año 2012. Las exportaciones de nueces tienen el mayor crecimiento, llegando a representar más de dos tercios de las exportaciones de frutos secos (ProChile, 2016).

Chilenut, asociación que agrupa a productores y exportadores de nueces señala que el incremento es de 1186% en las exportaciones del fruto seco, en el curso de una década y media, y que hoy la industria nogalera de Chile genera US\$321,6 millones por exportaciones (ElEconomistaAmérica, 2015).

En cuanto a superficies, según el último censo realizado en el país (2007), entre las superficies de frutales de nuez (ver figura 3) lidera la de Nuez de Nogal con 14.575,1 ha, le siguen los almendros con 7.716,6 ha, lo cual representa un alrededor del 50% de la superficie de Nogales (INE, 2007).

De superficie plantada en 2007, un tercio estaba en proceso de formación. En 2013, solo en la región Metropolitana la superficie de plantaciones de nogal correspondía a 10.949 ha, ocupando la mayor parte de la superficie frutícola de la región (ODEPA & CIREN, 2014), desplazando incluso a los parrones de uva de mesa ya que, posee un mejor manejo en contexto de escasez hídrica, opciones de mecanización en sus procesos de huerto y por lo tanto menor mano de obra.

## Superficie plantada de frutales de Nuez

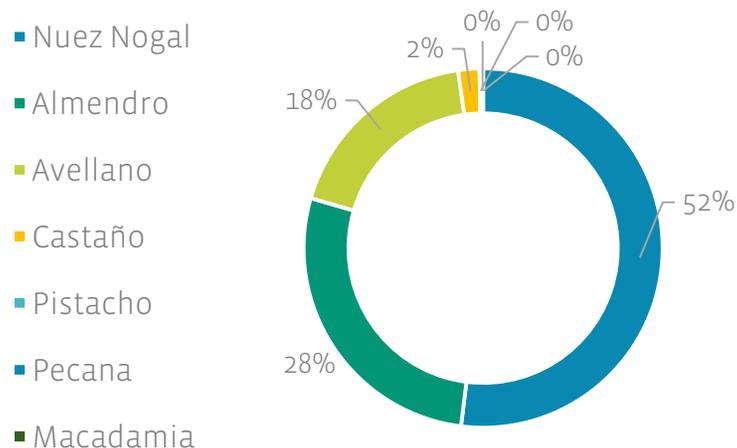


Figura 2: Gráfico Superficies plantadas de frutales de nuez. Elaboración propia basada en (INE, 2007).

## 2.2 Chile, productor y exportador de nueces.

En el hemisferio Sur, Chile es el mayor productor de nuez de nogal (Errecart, 2012) pues es un país que posee ventajas gracias a sus condiciones climáticas con primaveras y veranos secos y libres de heladas los que propicia el desarrollo del nogal.

Los últimos diez años se plantaron entre 2.500 y 3.000 Ha por año, expandiendo la superficie de nogales en un 152% según los catastros de CIREN y ODEPA, con superficies que van desde 0,01 ha a 464 ha (iQonsulting, 2016).

Las plantaciones de Nogal se sitúan desde la Región de Atacama hasta los Ríos, sin embargo, la mayor parte se concentra en la región Metropolitana, IV y V, entre las tres constituyen el 79% de la superficie a nivel país (iQonsulting, 2016). En 2013 existían alrededor de 31.000 Ha (Urrutia, 2013) de nogales en el país, como se muestra en la figura 3. Sin embargo, de las hectáreas existentes, un porcentaje estaba en formación (0 a 2 años) y otros en alguna etapa de producción (Quiroz, 2015), por lo tanto la producción se va incrementando a lo largo de los años, lo cual se confirma con los datos entregados por Jessica Millar, coordinadora de proyectos en Chilenut quien señala que en 2015 la superficie plantada en el país corresponde a 40.000 Ha, con un promedio de 3.500 kg por Ha, existiendo huertos con 1 tonelada por hectárea y los más grandes hasta 8 toneladas (Millar, 2016).

Los productores en total corresponden a 2.354, los cuales se pueden clasificar según el tamaño de la superficie, ya sea en productor pequeño cuando la superficie es inferior a 12 ha, o productor grande con una superficie mayor a 100 ha.

Los productores pequeños corresponden a un 56% y aportan un 11% de la superficie nacional, en cambio los grandes productores son un 9% pero en superficie son un 41% a nivel nacional (iQonsulting, 2016), proporciones que se pueden observar en la figura 4.

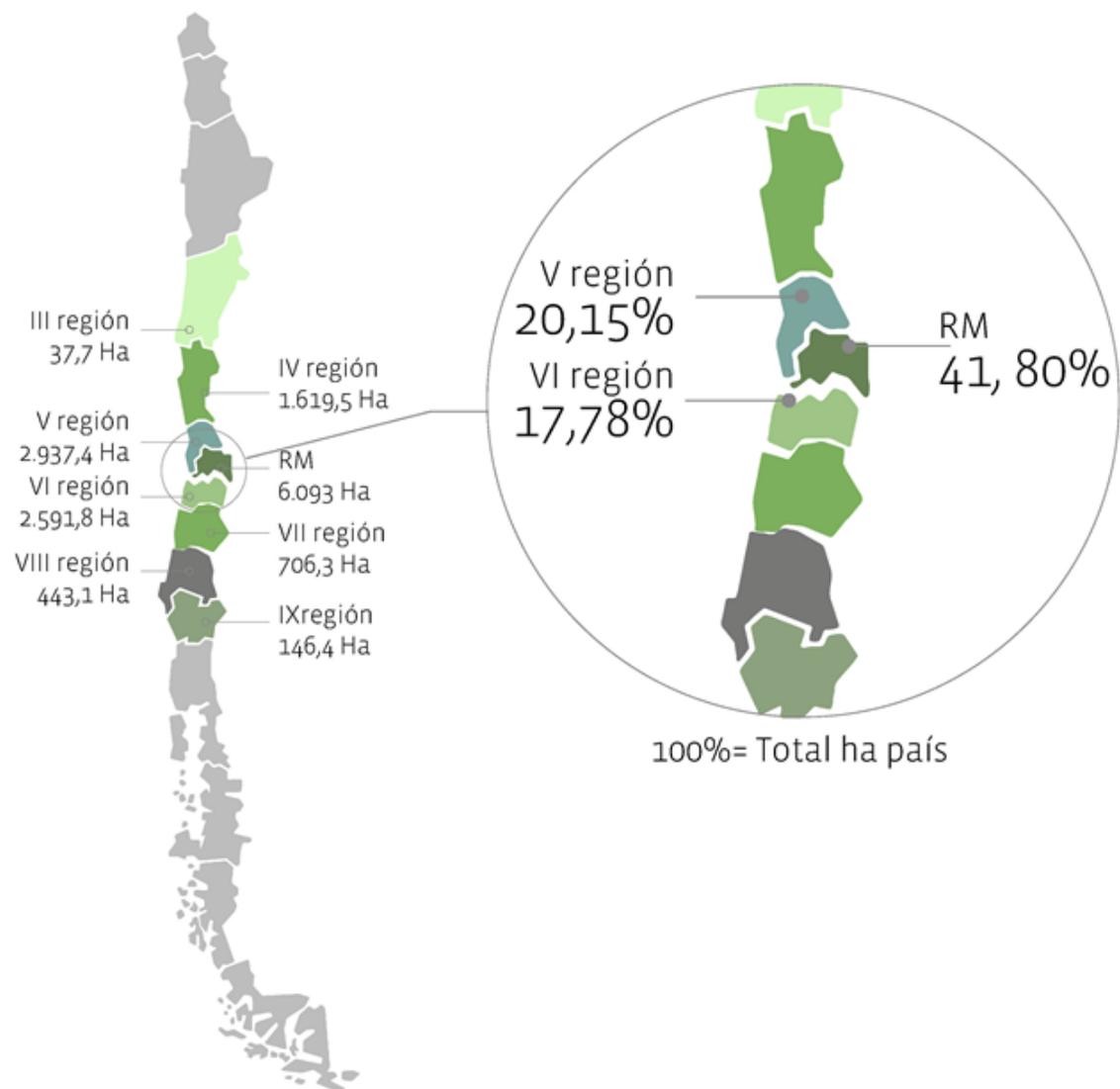


Figura 3: Superficie cultivada de nuez de nogal por región. Obtenido de INE, Censo Agropecuario 2007. Elaboración propia



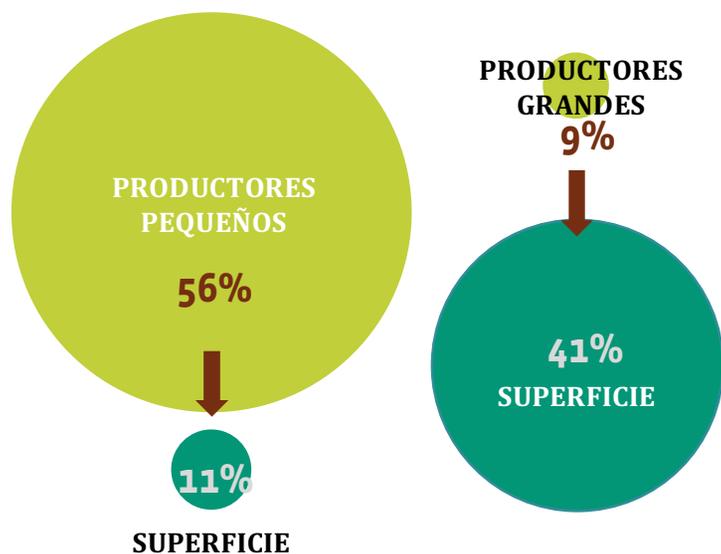


Figura 4: Productores de nueces. Fuente: Elaboración propia, basado en (iQonsulting, 2016)

En los últimos años, ha habido fuertes incrementos en la producción, en 2014 se produjeron cerca de 48.770 toneladas de nueces base con cáscara, cifra que aumentó considerablemente en 2015, pues se alcanzaron las 75.947 toneladas (tabla 1) y todo indica que esto seguirá al alza, ya que la industria de las nueces estima una producción sobre las 200.000 toneladas de nueces al 2025, lo que significaría un incremento de un 151% entre 2015 y 2025. (iQonsulting, 2016)

Tabla 1: Producción Chilena de nueces.

Año	Cantidad en toneladas, base con cáscara
2014	48.770
2015	75.947

Fuente: (iQonsulting, 2016; Quiroz, 2015)

En cuanto a las exportaciones de nueces Chilenas, como se mencionó anteriormente han ido en aumento; en 2014 se exportó alrededor de 52.000 toneladas, de estas un 42,5% se embarcaron en formato sin cáscara, en 2015 se exportó cerca de 62.800 toneladas base con cáscara y para 2025 se estiman cerca de 133.000 toneladas, lo que significa 70.000 toneladas más (iQonsulting, 2016).

En 2014 la cantidad, significó alrededor de 357 millones de dólares, cifra que lleva al país a ser el primer exportador del hemisferio sur (Puentes, 2016).

Los principales exportadores de nueces en el país se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Principales exportadores a nivel nacional.

Exportadora	% Cantidad
Exportadora Anakena ltda.	21%
Huertos del Valle ltda.	11%
Valbifrut S.A	10%
Pacific nut company Chile S.A	8%
Frutas de exportación S.A	6%

Fuente: Elaboración propia a partir de (Bianchini, 2008)



Las exportaciones son enviadas a más de 40 países. Turquía, Italia y Alemania fueron los principales destinos en 2015 (ver anexo 1). La mayor concentración se registra en Europa con un 68% (Quiroz, 2015), sin embargo en el último periodo se presenta un crecimiento de Latinoamérica y Lejano Oriente, siendo este último el más importante en los últimos tres años y donde Chile tiene grandes esperanzas ya que recientemente abrió puertas con China como importador de nueces.

Las cifras antes mencionadas, han llevado a que actualmente Chile sea el sexto productor de nueces y el tercer exportador mundial de nueces (Sofofa, 2015), producto que destaca principalmente por su calidad. Se espera que el volumen de sus exportaciones siga creciendo en los próximos años, pues se está dando a conocer como un proveedor confiable y ganando terreno en nuevos mercados.

## 2.3 La nuez de Nogal

La nuez es un fruto comestible simple y seco, está formado principalmente por tejidos secos y duros. Este fruto proviene del nogal y se clasifica como indehiscente, lo cual significa que no se abre cuando está maduro (ver anexo 2).

Las nueces se utilizan tanto para el consumo directo como en las industrias de helados, chocolates, confites, panaderías productoras de licores, cosmetología, industria aceitera, entre otras (Valenzuela, 2006).

Son apetecidas como ingredientes en la cocina casera, pero también de “delicatessen”, incluyéndose en la elaboración de pasteles, galletas, queques, chocolates y productos lácteos.

Por otra parte se han transformado en un componente importante de la dieta mediterránea y están siendo consideradas a la hora de prevenir enfermedades coronarias. Dadas las nuevas tendencias de vida y alimentación sana, el

aumento de los ingresos y consumo de productos naturales sobre todo en los países más ricos, el consumo de nueces ha ido en aumento desde fines de los años 1990 (Fundación para la Innovación Agraria, 2007). Las nueces se han comenzado a consumir como snack, ya que, son “ricas en vitaminas liposolubles, bajo en contenido de hidratos de carbono, con 0% de colesterol, alto contenido de ácidos grasos...” (Valenzuela, 2006)

### 2.3.1 El Nogal

*“El nogal es un frutal que ha acompañado al hombre a través de toda su historia”* (Lemus, 2001). Es un frutal antiguo, en Europa se han encontrado restos que datan de la edad del hierro, pertenece al género Juglans, nombre entregado por los romanos.

La especie Juglans regia L., conocida comúnmente como nogal común, persa o inglés, comienza en Persia y luego se lleva a Grecia, donde fue introducido por la realeza, lo cual le da el nombre de nuez persa o real. Luego, desde Grecia pasó hasta China y posteriormente se propaga por Europa (FIA, 2010)

Llegó a Chile con los españoles, quienes cultivaban la llamada nuez portuguesa, nuez redonda o acorazonada, sabrosa y de cáscara dura, la cual hasta hoy se le conoce como “nuez Aconcagua” o “nuez chilena”. En 1928, las nueces forman parte de la exposición frutícola emprendida en el marco de una política de fomento a la fruticultura promovida por los ministerios de agricultura y fomento. Luego de esto se compran árboles frutales para ser vendidos a los agricultores de forma conveniente, provenientes de importantes viveros de California (Lemus, 2001).

Posteriormente en los años 90 con la mecanización de las labores, surgen nuevas empresas con superficies de más de 100 Ha.



En los últimos años, se llevó a cabo en California una investigación liderada por un chileno que ha desarrollado la técnica para producir in vitro portainjertos de nogales. Éste la ha traído a Chile, abriendo así la posibilidad a nuevas zonas productivas y también mejorando la producción en los lugares tradicionales, lo cual tiene un proyección de 300 mil plantas para 2018 ("Los innovadores que prometen revolucionar la producción," 2016).

### 2.3.1.1 Clasificación botánica y variedades

El nogal común, *Juglans regia* L., pertenece al género *Juglans* de la familia Juglandaceae (Figuroa, 2012a), una de las primeras plantas con flores que existieron, sin embargo, a partir del genero *Juglans* existen 20 especies modernas, las cuales surgen de adaptaciones evolutivas.

Existe una gran cantidad de variedades de nogal, entre ellas se encuentran Hartley, Serr, Franquette Amigo, Chico, Tulare, Chandler Sunland, Vina, Howard, Sexton, Gillet, Forde, Ivanhoe, sin embargo hoy en el país la principal variedad en el país es Chandler (FIA, 2010a).

Históricamente se plantaba Serr y Chandler, sin embargo hoy es casi un 100% de Chandler (Quiroz, 2015). García Huidobro, asesor en nogales explica que es así, ya que, es una variedad que se adapta mejor a todos los climas, no funciona mal en el norte y de Santiago al sur "*es mucho más fácil 'hacer producir' a Chandler*".

La variedad Chandler, se originó en California, a partir de un cruzamiento realizado en 1963. Entre sus características se puede destacar que es altamente productivo, sus nueces son grandes, redondas, suaves, con cáscara algo blanda, se parte con facilidad, y algunos autores señalan que resiste mejor el almacenamiento que otros cultivares (FIA, 2010).

La producción promedio por hectárea de las principales variedades en cuanto a superficie (ver figura 5) indica que Chandler y Serr son las principales con 3.156,4 ha y 2.712,5 ha respectivamente (ODEPA & CIREN, 2014).

Superficies plantadas según variedad

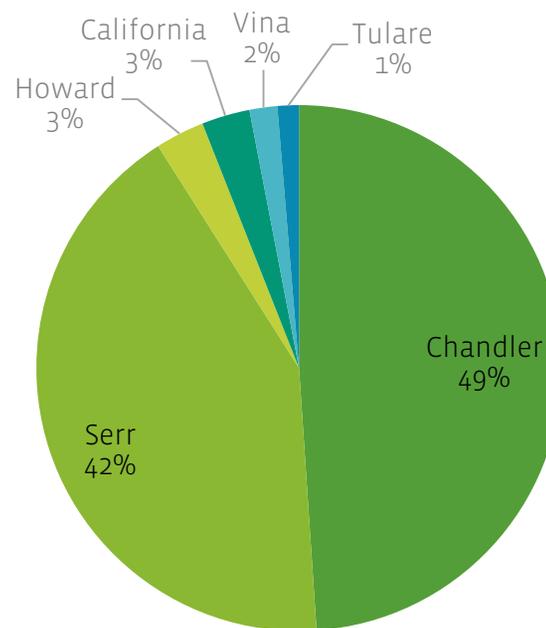


Figura 5: Gráfico porcentaje según superficie para cada variedad. Elaboración propia, basado en ODEPA & CIREN, 2014.



### 2.3.2 Caracterización de la Nuez

El fruto de nogal se compone de capas (Figura 6), la cuales se dividen en tres grandes partes, de ellas la semilla es la parte comestible y el resto un residuo. De fuera hacia adentro, se encuentra primero el pericarpio o comúnmente nombrado como pelón, capa que es eliminada naturalmente, quedando en el lugar de plantación. Le sigue más abajo la cáscara y septum, los cuales son retirados en el paso por la fase de partido o previo al consumo, quedando solo la semilla.



Figura 6: Capas del fruto. Elaboración propia

### CAPAS DE LA NUEZ

**Pericarpio – Exocarpio (pelón):** Es la envoltura que se origina en la pared externa del ovario (Figueroa, 2012), es de consistencia blanda, carnosa y de color verde a pardo oscuro. Rodea con sus 4 mm de grosor a un núcleo, el cual corresponde a la nuez (Lemus, 2001). En la madurez, se agrieta, se abre y libera la nuez cayendo al suelo (Figueroa, 2012). Se ha identificado en el pericarpio la presencia de juglona, la cual es de gran interés debido a su reactividad química; permite que actúe en el mecanismo de defensa frente a patógenos del nogal (Fernando Figueroa, 2012).

**Endocarpio – Cáscara:** Corresponde a la pared del ovario, el endocarpio del fruto, es la cubierta leñosa exterior que guarda la almendra comestible, la semilla. Está formada por dos válvulas simétricas pegadas, el interior presenta una superficie rugosa y bastante irregular. Su grosor varía, según las variedades, de 1 a 2,5mm. Representa el 50% de la nuez seca (iQonsulting, 2016).

**Septum:** Tejido leñoso, tabique o membrana, que separa a la semilla en dos cotiledones o mitades similares, por lo tanto se ubica entre dos lóbulos (ChileanWalnutCommission, 2012).

**Semilla:** Llena casi completamente la nuez, con la forma de una almendra cerebriforme, y superficie irregular, es la parte comestible. Representa entre el 35 y el 60% del peso seco de la nuez, está dividida por un tabique primario en dos lóbulos principales, los cuales además están recortados en la parte superior y, sobre todo, en la base por el tabique secundario (Figueroa, 2012)



### 2.3.3 Procesamiento de la industria de la Nuez

La cosecha puede ser mecanizada, semimecanizada o manual, dependiendo del volumen, condiciones del terreno, equipamiento y mano de obra disponible.

El procesamiento de las nueces presenta dos etapas fundamentales, la cosecha y Post-cosecha, las cuales se describen a continuación y luego se muestran en la figura 8.

#### COSECHA

Tienen que pasar 5 años para que un árbol de sus primeras cosechas y 8 antes de que sean abundante (Lyle, 2011). Por otra parte, deben pasar entre 18 y 20 semanas para madurar luego de que florecen y se recogen en otoño. En Chile el periodo de cosecha corresponde entre el 15 de marzo para variedades más tempranas y 15 de abril para las tardías (Chilenut, 2008) y luego mientras las nueces estén en su cáscara pueden guardarse durante meses a temperatura ambiente e incluso durante años si se congelan (Lyle, 2011)

Pasos:

1. **Vibrado manual o mecanizado:** Al remecer el árbol las nueces caen.
2. **Recolección manual o mecanizado:** Es una etapa importante, ya que, las nueces deben ser recolectadas rápidamente porque si están mucho tiempo en el suelo, se deteriora su calidad (Figueroa, 2012).

#### POST-COSECHA

Pasos:

3. **Despelsonado manual o mecanizado:** Es el momento en que se separa la cáscara más externa de la nuez, el pelón en las nueces que aún lo tienen luego de la recolección ya que la mayor parte queda en el árbol o suelo, quedando alrededor de un 10% según datos entregados por Nicolás Vidal, gerente comercial de Rinconada Walnuts. Junto a esta etapa se realiza un lavado y destrío del fruto, lo cual consiste en lavar las nueces y retirar ramillas, piedras, nueces defectuosas, cortezas, entre otros.
4. **Secado:** Etapa se reduce el exceso de humedad que posee el fruto, la cual es de alrededor de un 30% y debe disminuirse a no más de un 8% aproximadamente según datos de procesamiento en Rinconada Walnuts. El secado puede ser natural mediante el aprovechamiento del sol o artificial utilizando una corriente de aire caliente en secadores. En Chile lo más común es el cajón estacionario el cual consiste en cajones con un fondo de reja por la cual entra el aire caliente, subiendo por las nueces y absorbiendo la humedad. La cantidad de horas en los secadores comienza siendo 48, sin embargo a medida que avanza la cosecha disminuyen. En algunos casos como el de Rinconada Walnut, luego pasan a homogeneizadores de humedad (anexo 3).
5. **Almacenado:** Luego de estar seca, la nuez debe conservarse a una temperatura de 0 a 10 °C en un lugar limpio, ventilado y libre de humedad, prefiriendo bins plásticos por sobre los de madera o

bolsas de polietileno. Es importante evaluar la humedad de almacenaje, para evitar el desarrollo de hongos y la deshidratación excesiva que afecta la calidad de la nuez. La humedad máxima de almacenaje debe ser 12% y la mínima 8%.

(Carus, 2015; FIA, 2010a; Lemus, 2008)

**6. Calibrado:** Es el momento en que se mide el tamaño de la nuez con cáscara. Los calibres exportables con cáscara dentro de norma son entre 30 y 36 mm y los preferidos para la partidura cercanos o mayores a 34 mm (Huertos del Valle, 2013).

Luego de estos pasos, fruto puede ser seleccionado, envasado y comercializado con cáscara, pero también existe la venta sin cáscara, para lo cual el fruto debe pasar por los siguientes pasos.

**7. Partido:** Momento en que se parte la cáscara para abrir el fruto y obtener la semilla que corresponde a lo comestible. Se puede realizar de manera mecánica o manual. Durante la temporada 2014-2015 un 55% fue por partido mecánico y el 45% por partido manual (Andrés Rodríguez, 2015), sin embargo la proporción de nuez mariposa obtenida con el partido a máquina es menor que la obtenida a mano, y además el partido a mano del fruto permite alcanzar mejor calidad.

**8. Selección y envasado:** Finalmente la nuez es seleccionada y empacada para ser comercializada y aquellas que no son comercializadas de inmediato, se pueden guardar y conservar por largos periodos de tiempo.

A pesar de que la cosecha de nueces ocurre entre los meses de Marzo y Abril su procesamiento conlleva más cantidad de meses, de abril a noviembre y además gracias a que se pueden almacenar, la disponibilidad de nueces es durante todos los meses del año como se muestra en la figura 7.



Figura 7: Disponibilidad de nueces durante el año.

Fuente: PortalFrutícola, s.f.



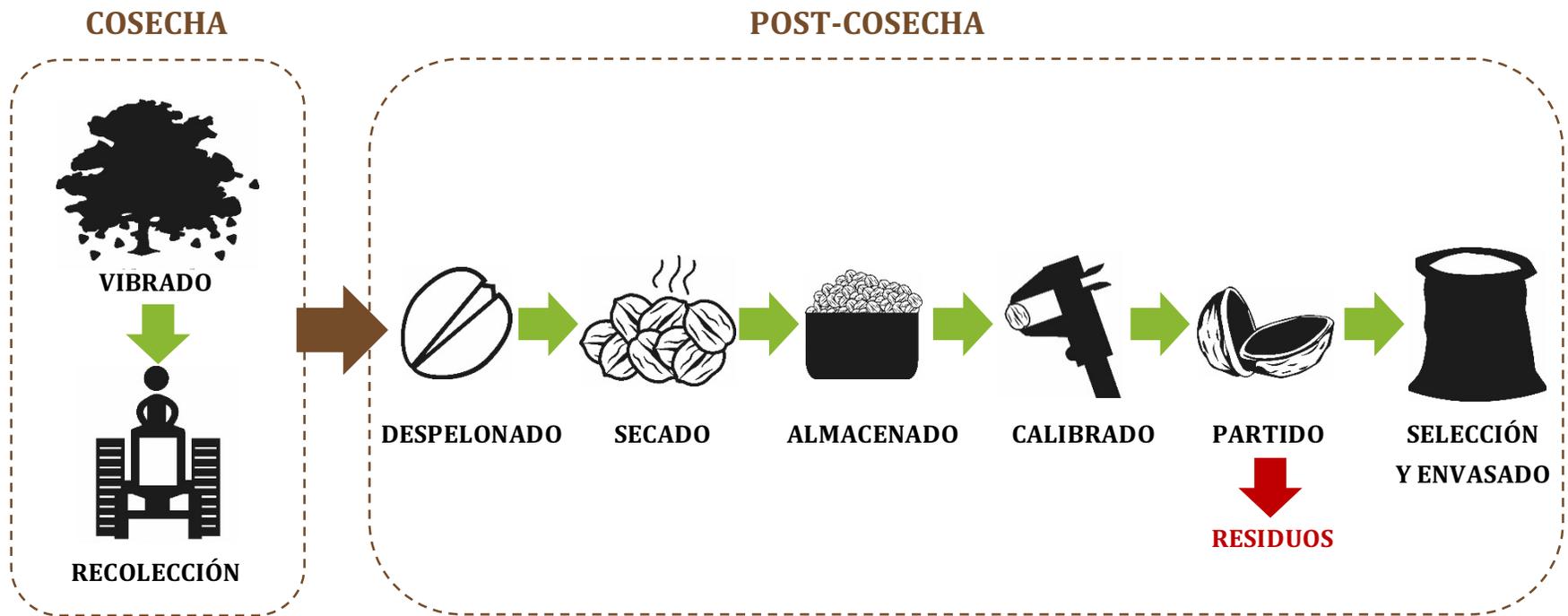


Figura 8: Procesamiento Nuez de Nogal. Elaboración propia.

### 2.3.4 Residuos del procesamiento de la Nuez

Normalmente las nueces llegan a la planta sin pelón, por lo tanto, luego de la Post-cosecha solo se considera como descarte la cáscara que se genera al momento de partido, las cuales corresponden al 50% del volumen seco (iQonsulting, 2016).

En 2015 la cantidad de residuos generados luego del procesamiento de la nuez corresponden a 30.348 toneladas. Entre estos se encuentran principalmente las cáscaras que derivan del procesamiento con 22.784 toneladas, lo que representa un 75%. Luego se encuentran los descartes de exportación con 6.560 toneladas, correspondiente a un 22% y son aquellos que no cumplen con los requerimientos para ser enviados fuera del país, sin embargo se comercializan dentro. Le siguen con 3% los descartes del procesamiento, equivalente a 992 toneladas base sin cáscara; estos descartes se comercializan en el país por no poder ser exportados, ya que corresponden a polvo o fragmentos pequeños. Finalmente con un 0,038% los descartes de selección significan 11 toneladas, y es todo lo que fue dañado por insectos, hongos u otros (figura 9) (iQonsulting, 2016).

Según las estimaciones, para 2025 se esperan 92.900 toneladas de descartes, lo que significa un 200% más que en 2015 (iQonsulting, 2016).

### Residuos del procesamiento

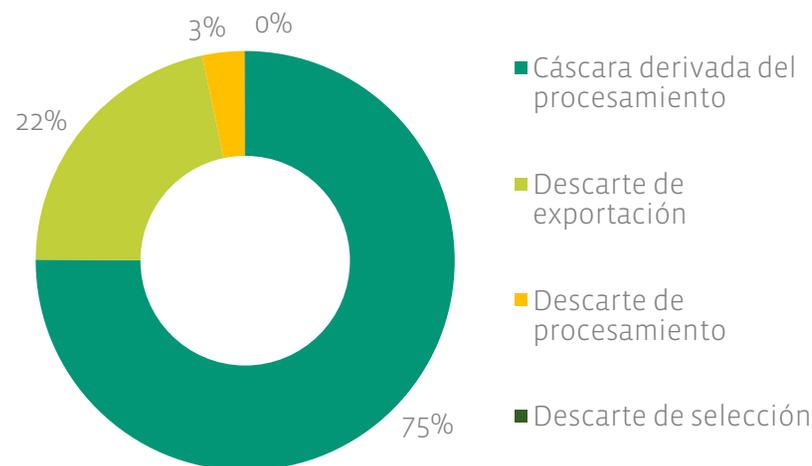


Figura 9: Gráfico residuos del procesamiento de la nuez. Elaboración propia, basado en (iQonsulting, 2016).



## 2.4 El residuo Cáscara de Nuez

### 2.4.1 Características y composición de la cáscara

La cáscara de nuez, corresponde a un residuo sólido agrícola que de acuerdo a los datos obtenidos y como se mencionó anteriormente, representa entre el 50% del peso total de la nuez seca (iQonsulting, 2016).

A partir de la revisión bibliográfica se ha identificado que la cáscara de nuez posee como componentes estructurales celulosa, hemicelulosa y lignina, por tanto se trata de un material lignocelulósico. Los porcentajes de cada componente (ver tabla 3) se obtuvieron del estudio "*Citric acid modified agricultural by-products as copper ion adsorbents*", luego de que se realizara el análisis en un laboratorio comercial (Woodson-Tenent Laboratories, Inc., Memphis, TN) empleando procedimientos estándar de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) (L.H. & W.E., 2000).

La lignocelulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) es el principal y más abundante componente de la biomasa producida por la fotosíntesis. Celulosa y hemicelulosa corresponden a polímeros naturales y la lignina, la segunda materia biológica más abundante en el mundo, a un heteropolímero, considerada como una de las moléculas responsables de otorgar mayor dureza a las maderas (Trujillo & Arias, 2013).

La hemicelulosa cumple la función de interactuar con la celulosa y lignina para proporcionar rigidez a la pared celular. Durante el proceso de fabricación de papel, su capacidad de enlace y su comportamiento visco-elástico es aprovechado para proporcionar propiedades deseadas como el grado de hinchamiento, hidratación, plasticidad, flexibilidad, rigidez, dureza, entre otras (Barroso, 2010).

Proteínas y cenizas, son también conocidos como compuestos extraíbles y en general son los componentes minoritarios y representan poco peso total de los materiales lignocelulósicos, sin embargo a pesar de su pequeña concentración, desempeñan funciones fisiológicas de vital importancia (Prinsen, 2010).

En cuanto al poder calorífico de la cáscara de nuez, este corresponde a 32.000 Kj/kg, por su parte la madera Seca tiene 19.000 Kj/kg. (Soc agrícola comercial nueces del Choapa, s.f).

Finalmente se han obtenido características físico-químicas de la familia *Juglans regia*, sin embargo no existen muchos estudios acerca de sus características, ya que hoy es considerada principalmente como un desecho.

En cuanto a su descomposición, como se mencionó es biodegradable y al mantener la cáscara de nuez con humedad se torna de color verde a negro en un lapso no mayor a 6 meses, y así se puede realizar compostaje (Romero et al., 2012).

Tabla 3: Composición cáscara de nuez (g/100 g de peso seco).

Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)
60.2	13.2	18.6	1.3	1.1

Fuente: (L.H. & W.E., 2000)

Macro: 100% cáscara de nuez  
Densidad aparente: 650 kg/m<sup>3</sup>  
Dureza: 2,5 Mohs.  
Peso específico: 1,25 kg/l.  
Seguridad e Higiene: No es peligroso para la salud. Es biodegradable y ecológico. Reutilizable.  
Producción: Origen vegetal. Orgánico.  
Ingredientes tóxicos: No contiene.  
Combustión: Produce CO<sub>2</sub>.  
Color: Café claro.  
Solubilidad: Insoluble en agua.  
Contaminación: No es explosivo ni contaminante.  
Ph: Neutro.  
Autoignición: Por encima de los 270°.



Fuente: (L.H. & W.E., 2000)&(Torres, 2010)

## 2.4.2 Utilización de la cáscara de nuez

La cáscara queda como descarte durante toda la temporada de partido, mayormente en la época de cosecha y post-cosecha, lo cual se transforma en un problema ya que se acumula atrayendo roedores y al captar humedad aparecen hongos, y por tanto no es higiénico.

Sin embargo para evitar este problema, hay empresas que comercializan la cáscara; como la empresa Pacific Nuts Company Chile S.A, y también existen empresas de molienda de cáscaras. En el país se encuentra Sermo ubicada en san Felipe y DKD en Santiago, sin embargo, existen otras que importan harina de cáscara de nuez desde EE.UU que corresponde a Oxiquim y Georgia pacific resinas Ltda (Torres, 2010).

Por otra parte, hoy la cáscara de nuez se utiliza principalmente para rellenar caminos, se tira a la tierra para devolver sus nutrientes como abono o también para formar una cubierta protectora manteniendo la humedad al disminuir la evaporación, además en forma de polvo se utiliza como abrasivo en las industrias. La cáscara de nogal seca es conocida entre los productos de biomasa por su potentísimo poder calórico, utilizándose como Pellet (Torres, 2010), (Marlenin, 2011).

En 2010 el kilo de cáscara era comercializado por la empresa Pacific nut company Chile S.A. a un valor de US\$ 0,05 (Torres, 2010), lo cual no significaba más de 30 pesos chilenos, por otra parte según la venta de cáscara en huertos del valle, hace dos años correspondía a 15 pesos chilenos el kilo.

Hoy la empresa Nogapel, comercializa la cáscara de nuez molida en diversas granulometrías a un valor bastante bajo.

Otros usos e investigaciones se presentan a continuación en la tabla 4:

Tabla 4: Uso de la cáscara de nuez, estado del arte

<p>Nui body scrub País: Brasil</p>	<p>Áridos Caribbean Ltda País: Chile</p>
	
<p>Cáscara de nuez molida y nuez de Brasil, junto a ingredientes naturales no especificados.</p>	<p>Cáscara de nuez</p>
<p>La cáscara de nuez molida es un exfoliante de origen natural utilizado en productos de cuidado personal para eliminar las células superficiales y asperezas. Nui body scrub contiene cáscara de nuez junto a otros ingredientes naturales para ser utilizado como exfoliante (NativaDoBrasil, s.f).</p>	<p>La Empresa Áridos Caribbean Ltda. Da un uso a las cáscaras de nuez como áridos para la construcción y decoración de jardines, de esta manera innova en la búsqueda de materiales nuevos y exclusivos.  (Marlenin, 2011)</p>

**Eco-shell**  
País: EE.UU



**Zilla**  
País: EE.UU



**Nogapel**  
País: Chile



**Anaproc**  
País: Chile



Cáscara de nuez molida	Cáscara de nuez molida	Cáscara de nuez molida-pellet	Cáscara de nuez molida
<p>Empresa que vende cáscara de nuez en diferentes granulometrías para diversos usos como pulidos, productos cosméticos, abrasivo, material de carga, para generar el hábitat de mascotas y alimento para el ganado. ecosshell.com</p>	<p>Utilización de cascara de nuez inglés para recrear el hábitat para reptiles, entre sus características se destaca como conductor de calor, no tóxico, no se presentan problemas en caso de ser ingerido por el reptil y puede ser compostado en el jardín. Petco.com</p>	<p>Empresa que comercializa pellet para combustión, cáscara de nuez en distintos calibres para granallado, un sistema de limpieza abrasivo. Nogapel.cl</p>	<p>Anaproc es una empresa Chilena que se dedica a la molienda, mezclado y secado de productos orgánicos, inorgánicos y alimenticios. La cascara de nuez la presenta en dos formatos, siendo uno harina de cáscara de nuez y el otro abrasivo de cáscara de nuez. Anaproc.cl</p>

**Carbón activado**  
**Año: 2003**  
**País: EE.UU.**



**Abrasivo**  
**País: Barcelona, España- EE.UU.**



**Bioenergía-Pellets Y/o Briqueetas**  
**País: Chile**

**Cáscara de nuez en la producción de plántulas de pinus patula, en vivero**  
**Año:2012**  
**País: Costa Rica**

Cáscara de nuez molida	Cáscara de nuez molida	Pellet-briqueetas	Cáscara de nuez con agrolita y vermiculita
<p>Estudio acerca del uso de carbón activado a partir de cáscara de nuez para eliminación de iones metálicos presentes en agua potable. La cáscara de nuez es más efectiva que los filtros presentes en el mercado y poseen menor precio, pero también se pueden utilizar otros materiales lignocelulósicos como cáscara de coco y carozo de durazno pues presentan mejores resultados que la cascara de nuez (Ahmedna, Marshall, Husseiny, Rao, &amp; Goktepe, 2003; Viswanathan, Indra Neel, &amp; Varadarajan, 2009)</p>	<p>Abrasivos y maquinaria S.A. y Kramer industries, Inc. a partir de la trituration y tamizado de la cáscara generan un abrasivo y lo venden en sacos de distintas granulometrías. Una vez adquirido, se debe almacenar en un lugar seco, sin contacto con agua ni humedad. (kramerindustriesonline.com; abrasivosymaquinaria.com)</p>	<p>Proyecto de la Sociedad Agrícola Comercial Nueces del Choapa, que consiste en desarrollar un combustible para aprovechar y utilizar el buen poder calorífico de la cáscara de nuez para la producción de energía en procesos industriales y calefacción doméstica (SocAgricolaComercialNuecesdelChoapa, 2013).</p>	<p>La cáscara de nuez se utiliza como una alternativa de sustrato para la producción de plantas en vivero, reduciendo costos de producción y contribuyendo con el sector productivo forestal (Romero et al., 2012).</p>

### **Análisis referentes**

A partir de los referentes estudiados, se ha identificado que los usos que se le dan a la cáscara de nuez hoy son poco elaborados e incluso en algunos casos podría ser reemplazada por otra materia prima similar. Los usos en el ámbito del diseño u otro similar es bastante reducido y se han encontrado solo dos referentes, los cuales se presentan en el capítulo 3 (Diseño de nuevos materiales).

La tendencia es a usar la cáscara molida en diferentes granulometrías, identificando a partir de esto, empresas que realizan la molienda y podrían ser proveedoras de la materia prima y a un bajo costo.



## Capítulo 3

---

# DISEÑO DE NUEVOS MATERIALES

The image shows two clear plastic cups on a light-colored surface. The cup on the left is partially filled with a white, opaque liquid. The cup on the right is filled with small, brown, irregular granules. The background is a plain, light gray wall.



### 3.1 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son aquellos que constan de dos o más materiales diferentes que en conjunto actúan como más de una de sus partes (Baillie & Peijs, 2003). Existen materiales compuestos naturales como la madera, sin embargo hoy, gran parte de los materiales compuestos son diseñados y fabricados por el hombre. (Stupenengo, 2011).

En un material compuesto, se pueden distinguir dos componentes: la matriz y el refuerzo o fase discontinua. La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda incrustado y el refuerzo es lo que se agrega a la matriz entregando nuevas propiedades. (Stupenengo, 2011). El refuerzo puede ser fibras o partículas, las cuales para ser carga deben ser más firmes o rígidas que la matriz, ya que cuando se trata de fibras o partículas pequeñas, estas no refuerzan la matriz, si no que actúan como relleno (Baillie & Peijs, 2003). En el caso de esta investigación, se pretende trabajar con una fibra natural como refuerzo, específicamente vegetal, la cual corresponde al residuo cáscara de nuez.

Actualmente ha surgido el interés por realizar investigaciones respecto de la fabricación de compuestos completamente ecológicos, en los que se refuerza la matriz con fibras de origen vegetal. Los materiales compuestos basados en fibras vegetales (celulosa), derivan de los constituyentes orgánicos renovables de plantas y poseen las ventajas presentadas en la tabla 5, sin embargo, estos generalmente presentan excesiva absorción de humedad y mala humectación (Baillie & Peijs, 2003).

La utilización de fibras de celulosa en la industria de materiales compuestos, día a día ha ido ganando terreno, a raíz de ventajas tales como tener un menor costo y en algunos casos ser más fuertes y fáciles de usar. La atención que se está dando a estos

materiales, tiene directa relación con las nuevas tendencias que han surgido sobre el cuidado del medio ambiente.

Tabla 5: Ventajas compuestos a partir de fibras vegetales.

- Biodegradable
- No genera subproductos
- No tóxico
- Desplazan productos basados en petróleo
- Reducen emisiones de gases de efecto invernadero
- Los costos de los productos son variables en comparación a existentes

Fuente: Elaboración propia, basado en (Calkins, 2009)

Por tanto para dar cabida a estas tendencias y al desarrollo sostenible, los materiales del siglo XXI, deben responder a nuevos requerimientos. Para cumplir con éstos, se deben efectuar cambios que pueden significar uso de nuevos recursos, combustibles renovables, descarte de residuos en el ciclo de vida, mayor utilización de recursos locales, minimizar procesos, entre otros (Calkins, 2009).

### 3.1.1 Materiales compuestos para un ciclo de vida circular

Cada materia prima que utilizamos posee una carga ambiental, su extracción perturba hábitats, genera impactos en el suelo; aire y agua; y afecta a la salud humana, ya sea directa o indirectamente a través de los daños ambientales (Calkins, 2009). Los graves daños que se han provocado, han incentivado a un mayor interés en el diseño sostenible, los diseñadores industriales y fabricantes de productos están buscando sistemas naturales para el diseño de ciclo cerrado, materiales con nuevas composiciones, y buscando la manera de reducir residuos y la contaminación en la etapa de producción del producto, pero muchas veces se presentan dificultades para considerar impactos ambientales y de salud humana, ya que no son fácilmente cuantificables.

Se consideran materiales y productos sostenibles aquellos que minimizan el uso de recursos, tienen impactos ecológicos bajos, y no representan riesgos o muy bajos para la salud humana o el medio ambiente (Calkins, 2009). Se espera que los materiales convencionales, sean sustituidos a partir de estos, es decir, por alternativas mejores y más ecológicas, sin embargo por ahora la tarea de los diseñadores es minimizar los impactos teniendo presente que lo bueno o malo va a depender de cada situación y uso para el cual está destinado el material (Calkins, 2009). Parte del diseño es abrir puertas, jugar con lo inusual y lo no probado, además las competencias en el diseño de productos confieren la capacidad de transformar los recursos naturales en productos negociables; recursos que tienen un potencial en la reducción de costes y peso (Karana et al., 2014), pero también generan menor impacto ambiental.

Es por esto que esta investigación presenta la oportunidad de diseñar un material que aprovecha como recurso lo que hoy es residuo, desarrollando un producto que posee un ciclo circular, de la cuna a la cuna (McDonough & Braungart, 2005). De esta manera

se genera una solución a la raíz del problema, es decir, se cierra un ciclo, ya que se considera el fin de vida desde un principio y se reducen impactos ambientales a través del uso y reintegro a la tierra. Según lo anterior se aplican materiales que brinda el entorno y se exploran materiales biodegradables, *“que contribuyen al desarrollo de la sociedad a través de propuestas innovadoras con responsabilidad ambiental”*(García, Barajas, & Alarcón, 2014)

En cuanto a ciclos circulares y de la cuna a la cuna, existen criterios establecidos a partir del programa de certificación de productos “Cradle to Cradle”, que define la calidad en base a cinco categorías de criterios para obtener productos que sean más beneficiosos, en lugar de limitarse a ser menos nocivos. Las categorías apuntan a eliminar sustancias químicas que son tóxicas, a que los productos se diseñen para biodegradarse o para ser reciclados, a utilizar energías renovables, y que el agua se considere como un recurso precioso y por tanto se cuide y a la justicia social y biodiversidad.

### 3.1.1.1 Biodegradabilidad

La demanda de materiales biodegradables aumenta día a día en los últimos años, esto a raíz de que crecen las preocupaciones relacionadas con el cuidado del medioambiente. Los fabricantes industriales a fin de responder a esta tendencia y cumplir con nuevas normas, comienzan a desarrollar estos materiales.

Matrec, empresa italiana especializada en el asesoramiento de materiales y productos ambientalmente sostenibles, tendencias, escenarios de mercado y eco-innovación de productos, señala que a partir de su origen los materiales pueden ser vírgenes o reciclados. Por su parte los vírgenes pueden ser sintéticos o de fuentes naturales, que a su vez son biodegradables y en algunos casos compostables o reciclables, como se muestra en la Figura 10:

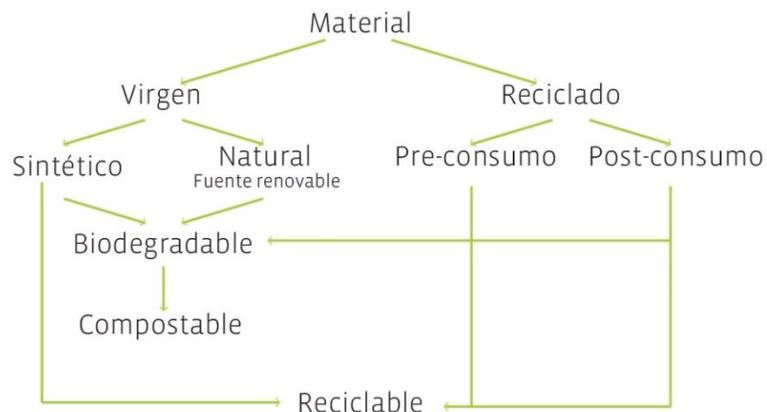


Figura 10: Origen de los materiales. Elaborado a partir de Matrec.

La biodegradabilidad ha sido definida por Capuz & Gómez como *“Compuesto orgánico que se puede descomponer en subcompuestos poco o nada contaminantes a través de procesos catalizadores de las enzimas. Una vez degradado se convierte en materia poco o nada reactiva biológicamente”* (Capuz & Gómez, 2004).

Por su parte, la “American Society of Testing and Materials” (ASTM) define un material biodegradable como “aquel capaz de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, componentes inorgánicos o biomasa, mediante la acción enzimática de microorganismos que puede ser medida por test estandarizados en un período específico de tiempo, en condiciones normalizadas de depósito”

Por lo tanto, un material biodegradable es aquel que puede descomponerse física o químicamente con el paso del tiempo, sin necesidad de procesos humanos, si no que de forma natural con ayuda del calor, de sol, de los hongos, viento, humedad, bacterias u otros, presentando la posibilidad de ser aeróbica (con oxígeno) o anaeróbica (sin oxígeno). Se debe tener en cuenta que la geometría del producto tiene gran influencia en el grado y tiempo de biodegradación, por tanto películas finas de material son más propensas a descomponerse, lo cual es importante a considerar, ya que, según estándares y normas internacionales la degradación debe ocurrir en un 60%-90% dentro de 180 días y no en miles de años como ocurre en algunos materiales.

Por su parte, los compostables son un subconjunto de los biodegradables (Meré, 2009) y se descomponen dentro de los plazos y condiciones de un proceso de compostaje. El compostaje se define como la técnica de tratamiento de la fracción sólida de los residuos que usa procesos naturales para convertir la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, agua y humus a través de la acción de los microorganismos (ZeaPlast, s.f.)

Es importante destacar que los materiales biodegradables que luego se convertirán en residuos, en su proceso de descomposición cumplen una función importante en la naturaleza, la cual es parte del ciclo de vida, ya que, al descomponerse la

materia orgánica, regresa energía y materiales a la tierra para generar más energía y materiales, es por esto que los residuos pueden servir de abono para el desarrollo de nuevos árboles o como alimento para otros seres vivos.

## Bioplásticos

Hoy en día los productos biodegradables más conocidos son de origen vegetal, animal o incluso mineral, sin embargo a raíz de la gran cantidad de plásticos que se utiliza y los graves impactos que generan, han surgido los bioplásticos.

Dentro de los bioplásticos cabe una variedad de polímeros, presentado entre ellos diversos atributos en cuanto al impacto medioambiental. La European Bioplastics los ha clasificado en dos diferentes tipos de plásticos: Plásticos basados en recursos renovables, los cuales pueden ser biodegradables o no y Plásticos biodegradables y compostables que cumplen con ciertas normas establecidas, para los cuales el origen puede ser renovable o no renovable, es decir basado en recursos fósiles (BioplasticsMagazine, 2013).

Por tanto los bioplásticos pueden ser:

- Basados en recursos renovables y biodegradables.
- Basados en recursos renovables, pero que no sean biodegradables.
- Basados en recursos fósiles y biodegradables.

Para avanzar hacia un desarrollo sostenible, como se mencionó en el capítulo 1, surge la ecología industrial que contempla la gestión medioambiental (Figura 1), para que se implementen políticas sostenibles que regulen el funcionamiento de entidades públicas y privadas. En este sentido, existe una serie de normas internacionales y métodos de ensayo, que se han desarrollado específicamente para conocer el grado de biodegradabilidad o compostabilidad de los productos.

En el caso de los biodegradables con origen en fuentes no renovables, se analizan y certifican según las normas internacionales ASTM D6400 y EN13432, sin embargo no son las únicas, pues con el tiempo y con mayor fuerza han surgido nuevas normas como EN14955 o ISO 17088. La mayoría establece que la biodegradación debe ser de entre 60% a 90% dentro de 180 días (Para mayor detalle revisar anexo 4)

### 3.1.1.2 Estado del arte: Materiales biodegradables a partir de residuos de la agroindustria hortofrutícola.

El estado del arte para esta investigación, posee como referente proyectos que desarrollan productos a partir de materia prima de la agroindustria hortofrutícola en el mundo, estos tienen como fin de vida la biodegradabilidad y/o compostabilidad.

Tabla 6: Estado del arte de materiales biodegradables a partir de residuos agroindustriales.

PROYECTO	COMPONENTES	PAÍS - DESCRIPCIÓN	FIN DE VIDA
<b>Mushroom® Packaging</b> 	Hongos y subproductos agrícolas	País: EE.UU  Material de embalaje de espuma elaborado con una mezcla de subproductos agrícolas y hongos. Requiere una octava parte de la energía y una décima parte del dióxido de carbono que necesitan los materiales tradicionales de embalaje. La acción de los micelios sobre los desechos vegetales logra polímeros con múltiples cualidades y se comportan como lo hace la propia naturaleza, bajo el principio de la cuna a la cuna. Fuente: <a href="http://www.ecovatedesign.com">www.ecovatedesign.com</a>	Biodegradable-compostable
<b>Duralmond</b> 	Cáscara de almendra y resina	País: España  Se trata de un material ligero e hidrófugo, que es posible de trabajar a partir de la técnica de moldeo, lo que permite generar una serie de objetos rígidos y bien terminados, con múltiples formas y texturas que además por su composición son biodegradables y reciclables. Fuente: <a href="http://www.duralmond.com">www.duralmond.com</a>	Biodegradable - reciclable

<p><b>Mush-Bloom Standard Planters</b></p> 	<p>Subproductos agrícolas, como cáscaras de semillas y tallos de maíz, y micelio de hongo líquido</p>	<p>País:EE.UU.</p> <p>Maceteros biodegradables fabricados con subproductos agrícolas y micelio del hongo. Se utiliza teñido con tintes naturales derivados de la raíz de la planta.</p> <p>Fuente: danielletrofe.com; (Capellini, Farías, &amp; Domeniconi, 2015)</p>	<p>Biodegradable</p>
<p><b>Citrus juicer</b></p> 	<p>Cáscaras de naranja y aglomerante biodegradable.</p>	<p>País: China</p> <p>Exprimidor hecho a partir de cáscaras de naranja aglutinado con un glomerante biodegradable.</p> <p>Fuente: www.oobject.com, (Capellini et al., 2015)</p>	<p>Biodegradable - reciclable</p>
<p><b>Artichair</b></p> 	<p>Tallo de alcachofa y resina biológica.</p>	<p>País: Reino Unido.</p> <p>Silla creada a partir de un material compuesto de tallo de alcachofa, un subproducto que de lo contrario se convierte en residuo industrial, el cual se trabaja en conjunto a una resina biológica a partir de la cocción de residuos de aceite. El diseñador que desarrolló el material es Spyros Kizis, graduado de la Universidad de Edimburgo.</p> <p>Fuente: <a href="http://www.spyroskizis.com">www.spyroskizis.com</a></p>	<p>Biodegradable</p>
<p><b>Agrícola</b></p> 	<p>Residuos de frutas, verduras y cereales y aglomerantes naturales.</p>	<p>País: Países Bajos</p> <p>Agrícola es una serie de productos de diseño a partir de residuos de la producción y consumo de frutas, verduras y cereales que se mezclan con distintos aglutinantes naturales como látex, goma damar y gutagamba. El enfoque se basa en bajar emisiones de CO2 y dar uso a recursos locales disponibles. En su fin de vida estos productos al ser biodegradables se descomponen en un compostador, convirtiéndose en nutrientes para los árboles y vegetales.</p> <p>Fuente: <a href="http://www.gionatagatto.com">www.gionatagatto.com</a></p>	<p>Biodegradable - compostable</p>

### **Análisis referentes**

A partir de la recopilación de referentes, se puede apreciar que en los últimos años y en diversos países, se ha impulsado el desarrollo de productos que utilizan residuos agroindustriales. Cada vez más se investiga y experimenta, aplicando tecnología y tendiendo hacia la sostenibilidad ambiental. Se demuestra de esta manera que los residuos pueden ser valorizados y convertirse en recursos.

Además, es importante rescatar la ventaja que tienen aquellos materiales que pueden trabajarse a partir de moldeo, ya que entrega al diseñador la posibilidad de generar múltiples formas, aspecto que se considerará para el material a desarrollar.

### 3.2 Utilización de la cáscara de nuez como materia prima para materiales

**Nuxite**  
País: Estados Unidos, Minneapolis



**Cáscara de nuez Chandler en el yeso**  
País: España, Madrid  
Año: 2011



Cáscara de nuez y resina acrílica o fenólica	Cáscara de nuez como carga en el yeso
<p>La cáscara de nuez se utiliza en conjunto a resina acrílica o fenólica y consiste en la creación de paneles para tableros de mesas, cocina o superficies decorativas. Posee alta densidad, baja absorción y peso ligero (Capellini, s.f; RustBrothersLLC, s.f.).</p>	<p>Se estudió la posibilidad de agregar la cáscara de nuez Chandler como sustituto de materia prima del yeso. La autora concluye que es viable el uso de la cáscara de nuez como sustituto de materia prima en el yeso. Las propiedades mecánicas no son las mejores, pero están dentro de lo requerido. Su uso disminuye costos en la ejecución de obras en la construcción. (Marlenin, 2011)</p>

**Análisis referentes**

En el primer caso, Nuxite, se ha identificado que al tratarse de una resina, la cáscara queda encapsulada y por tanto se pierde la biodegradabilidad que posee la cáscara.

En el caso de la investigación con yeso, la cáscara se agrega como carga y en muy baja proporción, sin embargo se incentiva a seguir analizando el residuo como carga y en otras granulometrías y porcentajes.

### 3.3 Requerimientos para un material compuesto biodegradable a partir de cáscara de nuez.

Para definir los requerimientos a considerar al desarrollar el material compuesto biodegradable, que utiliza como materia prima principal la cáscara de nuez, se toman como

base los tres pilares de la sostenibilidad (económico, social y medioambiental) y las estrategias del Ecodiseño para seguir un ciclo circular de la Cuna a la Cuna.

Tabla 7: Requerimientos para el compuesto biodegradable de cáscara de nuez, según etapas del ciclo de vida.

ETAPA CICLO DE VIDA	REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Materia Prima	Material Local	El material debe ser local o estar disponible en el lugar de producción.
	Bajo costo	A la hora de seleccionar, dar preferencia a aquellos que tienen menor costo.
	Materiales limpios	Materiales poco contaminantes y que generen mínima cantidad de residuos.
	Reducción en el uso de materiales	Utilizar en mayor porcentaje el residuo agroindustrial.
Producción	No tóxico	Inocuo a la salud humana
	Bajo nivel de energía para procesamiento	Bajo nivel de energía o uso de energías renovables para su procesamiento
	Bajo nivel de agua para procesamiento	Procesos que minimicen o prevengan el uso de agua
	Bajo Costo	A la hora de seleccionar, dar preferencia a aquellos que tienen menor costo.
Uso	No tóxico	Inocuo a la salud humana.
Gestión de fin de vida	Biodegradabilidad	Debe biodegradarse, ya que la cáscara presenta esta característica, por tanto al juntarse con el aglomerante logran formar un compuesto biodegradable.

Fuente: Elaboración propia, basado en (Calkins, 2009; McDonough & Braungart, 2005)

### 3.3.1 Aglomerantes biodegradables

Para llevar a cabo el proceso de aglomerado del residuo ya seleccionado y formar un material compuesto biodegradable, es decir integrar dos o más componentes que se descomponen de forma natural después de su vida útil, se hace necesario identificar un aglomerante que cumpla con esta condición.

Se realiza una primera selección de los aglomerantes que se encuentran en el mercado, filtrando aquellos que no están al alcance de los recursos de la investigación, ya sea por su alto costo o exigencias para trabajar. Luego se considera que este posea un bajo impacto ambiental y a la salud humana y que por tanto cumpla con los requerimientos presentes en la tabla 8, los cuales están asociados a las etapas del ciclo de vida.

Los aglomerantes ya seleccionados, posteriormente serán parte de la experimentación, ya que además de cumplir con los requerimientos mencionados, debe ser compatible con la cáscara de nuez, y entregar estabilidad morfológica.

En la primera etapa de experimentación, se utilizan solo aglomerantes de origen natural, sin embargo la mayoría de estos no entregan los resultados esperados según los criterios de selección de componentes a utilizar, por tanto se incorpora para la segunda etapa de experimentación un aglomerante de origen sintético.

A continuación, en la figura 11, se presentan los aglomerantes a experimentar, clasificados según su origen.

Tabla 8: Requerimientos para la selección de aglomerantes, según las etapas del ciclo de vida.

ETAPA	REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Materia Prima	Material Local	Material local o presentar disponibilidad en el lugar de producción
	Bajo costo	A la hora de seleccionar, dar preferencia a aquellos que tienen menor costo.
	Materiales limpios	Materiales poco contaminantes y que generen mínima cantidad de residuos.
Producción	No tóxico	Inocuo a la salud humana
	Bajo nivel de energía para procesamiento	Bajo nivel de energía o uso de energías renovables para su procesamiento.
	Bajo nivel de agua para procesamiento	Procesos que minimicen o prevengan el uso de agua.
Uso	No tóxico	Inocuo a la salud humana
Gestión de fin de vida	Biodegradabilidad	Debe biodegradarse, ya que la cáscara presenta esta característica.

Fuente: Elaboración propia.

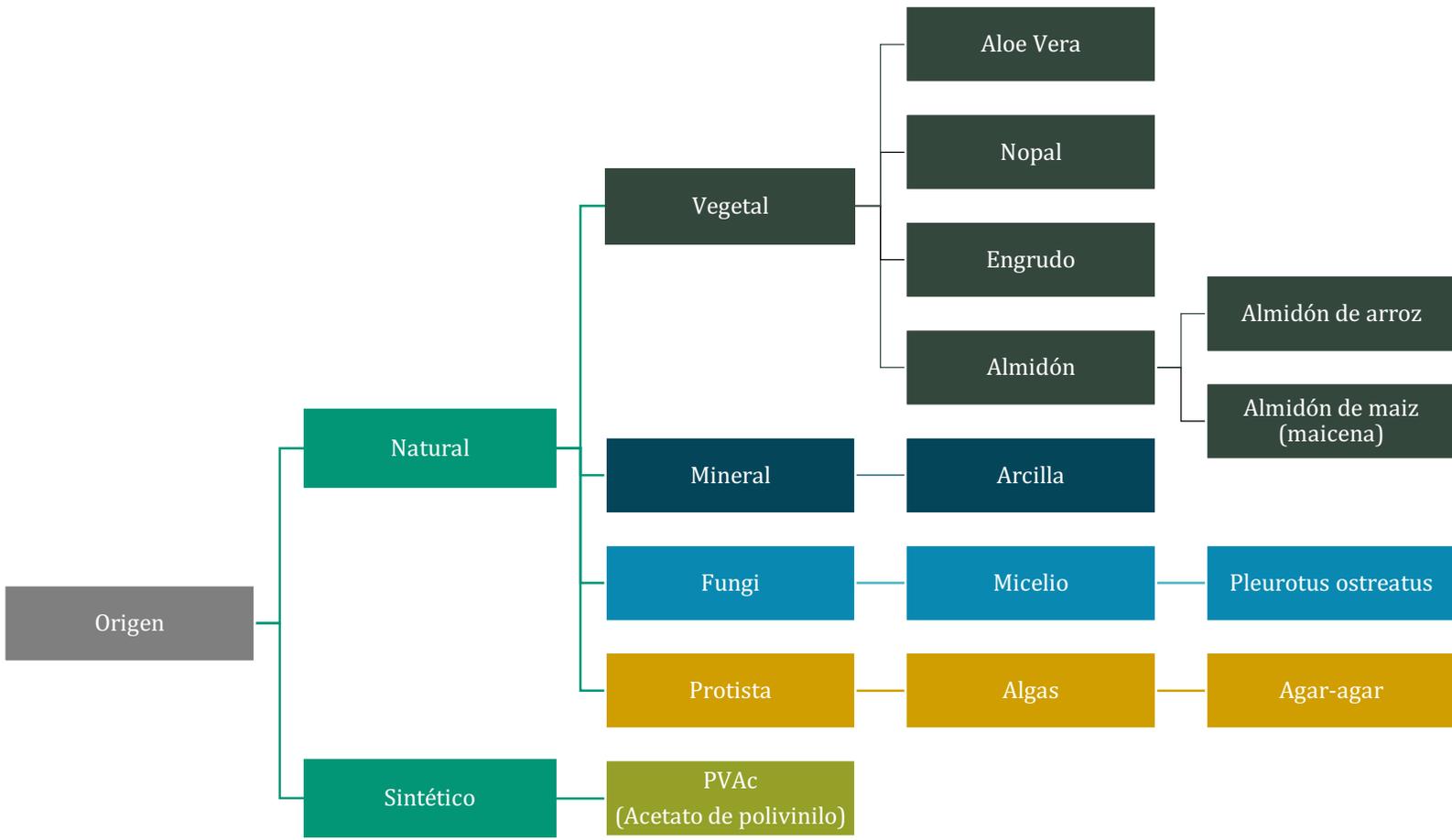


Figura 11: Aglomerantes biodegradables según su origen, utilizados en la experimentación. Elaboración propia.

## ORIGEN: VEGETAL

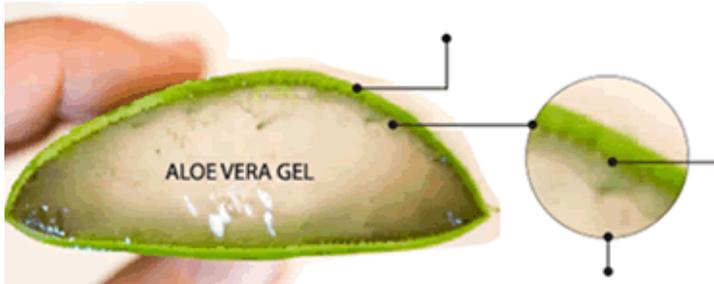
ALOE VERA	NOPAL
<p>Existen más de 350 especies de áloe, entre ellas se encuentra la planta de Aloe vera o Aloe Barbadensis Miller, es nativa de África, concretamente de la península de Arabia (Ferraro, 2009).</p> <p>Se caracteriza por sus hojas verdes y alargadas, duras, de consistencia carnosa, generalmente con espinas marginales, y sus hojas son las o más utilizadas pues de ellas se obtiene el gel de aloe (ver figura 13), un jugo pegajoso, transparente e insípido que contiene mayoritariamente agua y abundantes polisacáridos.</p> <p>Debido a su contenido en mucílagos, el gel de áloe posee propiedades hidratantes y emolientes y de ahí su uso popular en la piel y en la industria cosmetológica, formando parte de diversas cremas o geles. Sin embargo, también se han realizado recubrimientos para diversas fruta de cera natural a los cuales se les adiciona aloe vera, obteniendo como resultado el incremento de la vida útil, se disminuye la pérdida de humedad, mantienen la firmeza, retrasan el pardeamiento oxidativo y reducen la aparición de microorganismos” (Martínez-Romero et al., 2005), tal es el caso de manzanas, cerezas y plátano (Vásquez-Briones &amp; Guerrero-Beltrán, 2013).</p> 	<p>El nopal o tuna, científicamente denominado <i>Opuntia ficus-indica</i>, proviene de la familia cactácea y es originario de México. Se ha identificado que el uso del nopal se remonta a tiempos lejanos, pues las pencas de nopal excretan una sustancia viscosa llamada mucílago, un polisacárido fibroso altamente ramificado, que contiene arabinosa, galactosa y xilosa. Entre sus características el mucilago presenta viscosidad, es un buen gelificante, espesante, y emulsificante, por lo cual se utiliza en la industria de alimentos, incluso a partir de su composición química el mucilago podría ser utilizado en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles para frutas (Dominguez, Zegbe, Alvarado, &amp; Mena, 2011). Otra característica es que es capaz de formar redes moleculares y retener grandes cantidades de agua (Rodríguez-González, Martínez-Flores, Órnelas-Nuñez, &amp; Garnica-Romo) . Por otra parte, se destaca su uso en la arquitectura prehispánica, en México y otros países de Latinoamérica (Kita, Daneels, &amp; Romo de Vivar, 2013), investigadores afirman que la adición de mucilago de la tuna a mezclas de cementos refuerza la durabilidad de estos materiales. En México tradicionalmente se ha utilizado de modo similar al yeso en paredes de adobe y de ladrillo y en combinación con cal, aumentando sus propiedades adhesivas y mejorando la repelencia al agua (Sáenz, 2006).</p> <p>Finalmente es importante saber que para la obtención del mucilago se debe cortar la penca, y para una mayor concentración se recomienda cortarla a partir de los dos años de edad, durante los periodos más secos del año y en la mañana, pues la acidez del tejido es mayor (Dominguez et al., 2011).</p>

Figura 12: Aloe vera. Modificado de (Ferraro, 2009).

ENGRUDO	ALMIDÓN
<p>Las harinas se obtienen de cereales y legumbres secas y molidas, sin embargo no son apropiadas en ambientes húmedos y calurosos dado el moho.</p> <p>Para la preparación de engrudo de harina, se utiliza harina y agua fría, componentes que se revuelven y se colocan a fuego lento hasta hervir, momento en que se retiran del fuego y se dejan enfriar. En algunos casos se adiciona vinagre blanco para evitar su rápida descomposición y además, para conservarla por más días, se debe mantener refrigerada. Uno de los usos cotidianos es para la encuadernación(Rey, 2007).</p>	<p>El almidón nace producto de cadenas en forma de polímero que forma la glucosa.</p> <p>Zeaplast, lo ha definido como “<i>un polímero natural (carbohidrato) formado por la amilosa y la amilopectina</i>”, está presente en cereales como maíz, arroz y trigo y en los tubérculos como papas, batata o mandioca y es una de las sustancias que aporta mayor cantidad de calorías a la alimentación del hombre. Posee diversas posibilidades de modificación química y física, por tanto puede transformarse en un biopolímero prometedor para el desarrollo de envases biodegradables, filmes plásticos, entre otros (PlásticoVegetal, s.f).</p> <p>Sus gránulos no se disuelven en agua fría, pero tienen la capacidad de hincharse levemente con el agua y volver al tamaño original al secarse. Sin embargo cuando se calientan en agua se produce el proceso de gelatinización, que es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. La gelatinización entonces va a depender de la cantidad de agua y la temperatura alcanzada, la cual se denomina crítica y que depende según cada variedad de almidón, lo que conlleva a una experimentación previa para su conocimiento (Meré, 2009).</p> <p>Finalmente, estudios señalan que los almidones con mayor contenido de amilosa forman películas con mayor tensión a la ruptura y módulo elástico, y menor deformación (Condés, 2012).</p>



## ORIGEN: MINERAL

### ARCILLA

La RAE, la define como *“tierra finamente dividida, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene”*.

Se trata de una roca sedimentaria que abarca minerales, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano. A pesar de algunas excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua, el cual es llamado plasticidad, e incluso endurece cuando es secada o sometida a tratamientos térmicos a alta temperatura (Díaz & Torrecillas, 2002).

La arcilla común se utiliza principalmente, en el sector cerámico de la construcción y en alfarería, los ceramistas la utilizan mezclada con agua para formar una pasta. Por tanto está presente en la industria de la construcción, en ladrillos huecos, tejas, azulejos, pavimentos o revestimientos, en el sector de la alfarería, en las industrias del cemento y como agregados ligeros (Díaz & Torrecillas, 2002).

## ORIGEN: FUNGI

### MICELIO: PLEUROTUS OSTREATUS

Los mushroom materials, surgen a partir del desarrollo en los últimos años de los “grown materials” o materiales cultivados, que tienen que ver con la aplicación de lo que se observa en la naturaleza para crear materiales biodegradables. Los hongos poseen una gran velocidad de

crecimiento y su pared celular está compuesta por quitina, la cual les da la resistencia (Illana, 2014).

Los materiales utilizan el micelio como aglutinante ya que se trata de una red de filamentos que se va desarrollando al alimentarse principalmente de fibras naturales y desechos agrícolas (paja, cáñamo, algodón, cáscara de arroz, serrín, tallos de maíz, entre otros) ricos en lignina. Luego de que el micelio se ha desarrollado, se somete a una temperatura adecuada para matar al hongo, evitando que siga creciendo y se desarrollen hifas y a la vez se evapora agua residual, por tanto pierde peso.

Algunas de las condiciones detectadas para que el micelio crezca, tienen que ver con factores como la luz, pues es mejor que no se presente luz. Por otra parte el contenido de humedad es muy importante, ya que, afecta el rendimiento y producción de setas (Düzkale Sözbir, Bektaş, & Zülkadir, 2015). Un buen sustrato es aquel que presenta mayor cantidad de lignina y se ha detectado que agregar harina o similares ayudan a la dureza final del material.

En Chile se pueden comprar el micelio a través de la página web biomiscelios.cl, la cual produce diversas cepas en Talca. Se ha realizado un estudio en Turquía para determinar qué sustratos y proporciones de sustrato son adecuados para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, cascarilla de algodón, aserrín de madera de roble y cáscara de nuez, todos en distintas combinaciones. Por su parte, en aquellas mezclas que solo había cáscaras de nuez como sustrato, se presentó la menor humedad de las nueve realizadas y se identificó que la mezcla que solo contiene cáscara de nuez es la que demora menos tiempo (Düzkale Sözbir et al., 2015).

Los pasos a seguir para la utilización de micelio son recomendados en la sección de compras de la página web del Proyecto Ecovative; [www.ecovatedesign.com](http://www.ecovatedesign.com).

## ORIGEN: SINTÉTICO

### PVAc (ACETATO DE POLIVINILO)

El acetato de polivinilo, es un polímero biodegradable (Calvo-Flores & Isac, 2013) que se obtiene a partir de la polimerización del acetato de vinilo, un compuesto orgánico, líquido e incoloro. Se utiliza generalmente para el trabajo con madera y papel debido a sus fuertes propiedades de adhesión (EditorsEncyclopediaBritannica, 2016; Frihart, 2005; Wypych, 2016a, 2016b)

Se trata de un polímero termoplástico, inodoro, no tóxico ni irritante, de color lechoso, por lo que habitualmente se le llama cola blanca, pero que luego de fraguar se convierte en una película transparente (Viveros Muñoz, 2007).

A pesar de ser un polímero sintético, este se degrada y la biodegradación típica se produce por hongos e hidrólisis por la enzima lipasa (ThePlasticsIndustryTradeAssociation, s.f; Wypych, 2016)

En cuanto al precio, es más alto si se compara con almidones, pero más bajo al comparar con polímeros sintéticos, frente a los cuales es rentable y fácil de usar. Una vez que se aplica en la superficie, y se deja al aire, se produce evaporación y la cola se seca formando una película.

Se trata de un polímero lineal, con una cadena principal alifática, lo cual lo hace un adhesivo más flexible en comparación a los copolímeros de formaldehído (Frihart, 2005).

La buena adhesión interfacial al utilizarlo con la madera se debe a que puede formar muchos enlaces de hidrógeno por su alto contenido de acetato y su cadena principal flexible.

Sin embargo frente a altos niveles de humedad, pierde resistencia debido a la pérdida de fuerza o altos niveles de estrés constante dada la falta de resistencia a la fluencia (Frihart, 2005).

## ORIGEN: PROTISTA

### ALGAS: AGAR-AGAR

El Agar Agar es un polisacárido de cadena normal obtenido de la pared celular de las algas, se trata de una mixtura de polisacáridos compleja, compuesta por dos fracciones principales que corresponden a un polímero neutro; la agarosa y un polímero con carga sulfatado, la agarpectina.

Se presenta en diversos formatos: polvo, copos, barras e hilos, sin embargo para aplicaciones industriales lo más utilizado es en polvo. Algunos de los usos que se le da son como base de solidificación en la industria de alimentos, médica, farmacéutica y biotecnología.

Entre sus propiedades se encuentran que es insoluble en agua fría, pero se hidrata y absorbe gran cantidad de agua (hasta veinte veces su propio peso), la disolución en agua caliente a punto de ebullición es rápida y es capaz de formar geles a bajas concentraciones (0,5%). En cuanto a la viscosidad, esta depende de la especie de alga a la que se le extrae la materia prima a temperaturas superiores al punto de gelificación (60°C) es relativamente constante entre los pH de 4,5 a 9,0 y una vez la gelificación se ha iniciado, la viscosidad aumenta con el tiempo.

Por otra parte, se ha determinado que al exponer la muestra a altas temperaturas durante períodos prolongados puede degradarse y que la disminución del pH (menor a 6) disminuye la fuerza de gel.

Un factor a considerar, es que a pesar de que en su forma seca no hay tendencia a que se contamine por microorganismos, las soluciones y los geles de agar-agar son medios fértiles para bacterias y hongos (AgarGel, s.f.)





# Capítulo 4

---

## EXPERIMENTACIÓN





## 4.1 Metodología de la experimentación

La presente investigación consiste en desarrollar un estudio práctico mediante la experimentación con el residuo cáscara de nuez y diversos aglutinantes biodegradables con el fin de desarrollar un material compuesto biodegradable a partir de la utilización del residuo cáscara de nuez como materia principal.

En la fase uno se buscó cumplir con el objetivo de establecer el proceso de elaboración de un material compuesto en base al residuo cáscara de nuez y un aglomerante biodegradable para dar cumplimiento se realizaron dos etapas de experimentación, las cuales consistieron en triturar y tamizar la cáscara, luego mezclarla en distintas granulometrías y con diversos aglutinantes biodegradables probando distintas proporciones de cada componente. Se obtiene como resultado la estandarización del procesamiento de un material compuesto en base a una granulometría de cáscara y un aglutinante biodegradable.

En la fase dos, con el objetivo evaluar las características físico mecánicas del material el compuesto se somete a diversos ensayos, que corresponden a pruebas mecánicas, térmicas, comportamiento al fuego y de mecanizado.

En la fase tres, se busca evaluar las posibilidades constructivas del material compuesto a través de moldes de doble y triple curvatura, por tanto se conforman piezas primero a través de moldes de fácil acceso y posteriormente se generan moldes para explorar diversas morfologías con la mezcla.

Y por último con el objetivo de analizar el ciclo de vida del proceso de conformado del material para identificar la huella de carbono y ambiental, se aplica la metodología de ecodiseño.



Tabla 9: Metodología experimentación.

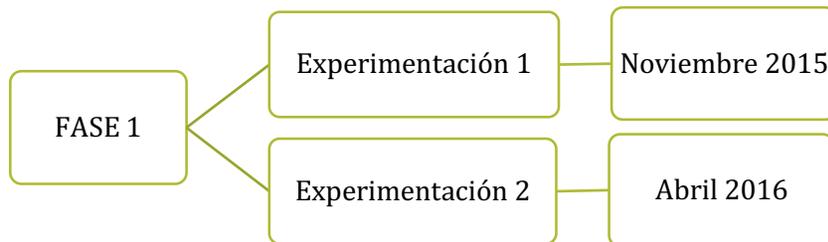
FASES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS
Fase 1/ Capítulo 4	Establecer el proceso de elaboración de un material compuesto en base al residuo cáscara de nuez y un aglomerante biodegradable.	-Triturar y tamizar la cáscara -Mezclar la cáscara en distintas granulometrías y con diversos aglutinantes biodegradables. -Probar distintas proporciones de cada componente	Estandarización del procesamiento de un material compuesto en base a una granulometría de cáscara y un aglutinante biodegradable.
Fase 2/ Capítulo 5	Evaluar las características físico mecánicas del material a través de la realización de pruebas mecánicas, térmicas, comportamiento al fuego y de mecanizado.	Someter las probetas a diversos ensayos	Caracterización del material compuesto
Fase 3 Capítulo 5	Evaluar las posibilidades constructivas de material compuesto a través de moldes de doble y triple curvatura	-Conformar diversas piezas a través de moldes de fácil acceso. -Generar moldes de doble y triple curvatura para explorar diversas morfologías con el material compuesto.	Diversas morfologías con el material compuesto utilizando
Fase 4 Capítulo 6	Analizar el ciclo de vida del proceso de conformado del material para identificar la huella de carbono y ambiental.	Aplicar la metodología de ecodiseño: ACV	-Huella de carbono y huella ambiental del material -Detectar ineficiencias

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Desarrollo de la experimentación

### FASE 1: Exploración de la materia prima

Dentro de la fase 1 se realizaron dos etapas de experimentación a lo largo del tiempo. La experimentación 1 se realiza entre Noviembre y Enero y es el primer acercamiento a la cáscara, a las distintas granulometrías que se pueden lograr y a diversos aglutinantes. Posteriormente a partir de los resultados y conclusiones, en el mes de Abril se comienza con la experimentación 2, la cual tiene busca seleccionar una granulometría y un aglutinante, desarrollando un procesamiento estándar del material, con el cual se generan probetas de estudio.



**Obtención de cáscaras:** Para la realización de la experimentación se realiza un catastro de los productores de nueces (ver anexo 5), con el fin de conseguir a través de ellos la materia prima.

Los productores acceden a regalarlas, ya que no les dan uso. Las cáscaras se obtienen secas y solo es necesario trasladarlas al lugar de experimentación.



1 bolsa de supermercado= 1,5 Kilos

Valor de 1 kilo: \$15

Fuente: Pia Pizarro, control de calidad Rinconada Walnut, 2016

Entre los productores contactados se presentan distintas técnicas de partido (manual-industrial) y distintas variedades de fruto, lo cual no se considera relevante en esta investigación, ya que, se pretende mezclar toda la cáscara de nuez que es residuo y utilizarla en formatos pequeños.

## Experimentación 1

### 1.-Triturar y tamizar la cáscara

**Molienda:** Una vez obtenidas las cáscaras se procede a molerlas con el fin de obtener pequeñas granulometrías. Estas son trituradas con un molinillo eléctrico para trigo en el cual las cáscaras se insertan en mitades, utilizando dos tamaños de cedazos; primero de 12 mm y luego estas se pasan por un segundo cedazo que corresponde a 3 mm (ver figura 13).



Figura 13: a. molinillo eléctrico de maíz; b. placa tamizadora 12 mm; c. placa 3mm

**Tamizado:** Se continúa con el proceso de tamizado, pasando por dos cedazos y se obtienen las siguientes granulometrías:

Tabla 10: Granulometrías experimentación 1

Granulometrías
Menos de 1 mm
2 mm
Entre 2 y 5 mm

Fuente: Elaboración propia

### 2.-Mezclar la cáscara en distintas granulometrías y con diversos aglutinantes biodegradables.

Para la realización de las probetas se utilizan los siguientes materiales:

- Pesa digital.
- Contenedores de aluminio o MDF y mezclador.
- Cámara fotográfica, para llevar registro documentado.

Tabla 11: Aglutinantes experimentación 1

Aglutinantes
Aloe vera
Nopal
Arcilla
Agar Agar
Micelio (Cepa CCL11)
Almidón de arroz
Almidón de maíz (maicena)

Fuente: Elaboración propia

### 3.-Probar distintas proporciones de cada componente

Las primeras muestras se realizan de manera informal y espontánea, adicionando cada componente a partir de la observación del momento.

## Criterios de selección de muestras

De la experimentación 1 donde se involucran las variables granulometría, aglutinante y proporciones, se desprenden probetas de estudio, a partir de las cuales luego de alrededor de dos meses de experimentación y observación del comportamiento de la cáscara de nuez con distintos aglutinantes, se establecen como fundamentales dos requerimientos para la selección de muestras que se presentan y describen en la siguiente tabla.

Tabla 12: Criterios para selección de muestras.

Criterio de selección	Descripción
Presencia de hongos	Que no exista presencia de hongos en menos de cinco días, ya que habría que asignar un uso bastante específico dado su corto tiempo de duración.
Estabilidad morfológica	La mezcla se cohesiona dando origen a probetas, las cuales deben permitir su manipulación.

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados experimentación 1

Tabla 13: Resumen resultados experimentación 1

Aglomerante	Estabilidad morfológica	Presencia de hongos	Foto inicial	Foto final
Aloe vera	Al manipularla es frágil y en algunos casos se quiebra.	No presenta		
Nopal	Al manipularla queda frágil y en algunos casos se quiebra.	No presenta		
Arcilla	Aglutina, sin embargo es Frágil.	No aglutina		

Agar Agar	No en todas las mezclas aglutina	Al tercer día		
Micelio	No aglutina completamente, quedando completamente frágil.	Las primeras pruebas se azumagan (mohoso), posteriormente con nuevo micelio no hay presencia de moho.		
Almidón de arroz	Se resquebraja	Al segundo día		
Almidón de maíz (Maicena)	No es posible determinarlo ya que la cantidad de hongo no permite su manipulación.	Al tercer día		

Fuente: Elaboración propia. (Para mayor detalle revisar anexo 6)

A partir de la experimentación, se ha identificado que mientras más pequeño el formato de la granulometría de la cáscara la mezcla aglutina mejor, definiendo que debe ser de 5 mm hacia abajo, pues los tamaños mayores no aglutinan. Por tanto a partir de lo obtenido luego de trituración, tamizado y realización de muestras las granulometrías seleccionadas para continuar la experimentación corresponden a 0-1mm y 1-2mm.

Luego de aplicar los criterios de selección de aglomerante, los seleccionados para continuar en la experimentación 2 son; Aloe Vera, Arcilla y se agregan Acetato de Polivinilo y engrudo de harina (tabla 14).

Tabla 14: Selección de aglutinantes según criterios

Criterio de selección	Aglomerante que no cumple
Presencia de hongos	Agar-agar, en ambos formatos experimentados (polvo y sólido), almidón de arroz y almidón de maíz (Maicena), según lo observado estos aglomerantes conllevan a mantener humedad en la mezcla, factor que influye en la rápida aparición de hongos.
Estabilidad morfológica	En el caso del Nopal, en general se presentan buenos resultados, gran cantidad de tiempo sin presencia de hongos, sin embargo las probetas son quebradizas a la manipulación. Micelio, ya que no aglutina en las granulometrías probadas.

## Experimentación 2

Luego de la experimentación 1, aparece una nueva variable a considerar, ya que las condiciones climáticas en cada experimentación son distintas por los meses en que se realizan; como primer requerimiento se plantea la aclimatación del lugar físico en que se sitúa la muestra, considerando luz, humedad y temperatura,

### 1.- Triturar y tamizar la cáscara

Para optimizar el proceso de experimentación se contacta a Nogapel, quienes comercializan la cáscara molida, en la granulometría deseada y a bajo costo.

Por tanto solo es necesario tamizar para separar obtener las dos granulometrías seleccionadas en la experimentación 1.

Tabla 15: Granulometrías Experimentación 2.

Granulometrías
Granulometría 1: 0 a 1
Ganulometría 2: 1 a 2 mm

Fuente: Elaboración propia.

### 2.- Mezclar la cáscara en distintas granulometrías y con diversos aglutinantes biodegradables.

Para la realización de las probetas se utilizan los siguientes materiales:

- Pesa digital.
- Contenedores de aluminio, moldes de MDF y acrílico.
- Cámara fotográfica, para llevar registro documentado.
- Para evaluar los factores de temperatura y humedad de las mezclas y del ambiente, se propone el uso de Arduino como una herramienta en la obtención de datos útiles y a bajo costo. Por tanto se requiere una placa de

Arduino con sensores de humedad y temperatura

-Horno solar casero y ampolleta infrarroja.

Tabla 16: Aglutinantes Experimentación 2.

Aglutinantes
Aloe Vera
Arcilla
Engrudo de harina
Acetato de polivinilo (PVAc)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.- Probar distintas proporciones de cada componente

Dentro de los requerimientos definidos, se encuentra utilizar en mayor porcentaje el residuo agroindustrial, por tanto se busca que las muestras se aglomeren con porcentajes 60% cáscara y 40% aglutinante y de estos hacia arriba.

## Utilización de Arduino para estandarizar variables

Con la primera etapa de experimentación se reconoce la necesidad de evaluar las características de la mezcla en las probetas, para lo se propone el uso de Arduino como una herramienta accesible para la obtención de datos y a bajo costo. Se determina evaluar las variables de humedad y temperatura.

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Fue diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos interdisciplinarios. Al ser open-source se pueden encontrar códigos e información en línea, por otra parte no requiere grandes conocimientos y por lo tanto puede ser utilizado tanto por profesionales como quienes recién se incorporan a la electrónica y programación.

La Placa está compuesta por pines digitales y analógicos en los que puede conectar sensores que recogen información. En este caso como se mencionó anteriormente, para esta investigación se utilizan sensores de humedad y temperatura (ver figura 14), Otra de las ventajas que presenta es la accesibilidad económica,

ya que la placa se puede encontrar en el mercado chileno por \$15.000 aproximadamente.

Su utilización facilitó la obtención de datos respecto de humedad y temperatura de las probetas y de su entorno a lo largo del tiempo, lo que permite estandarizar la conformación de probetas.

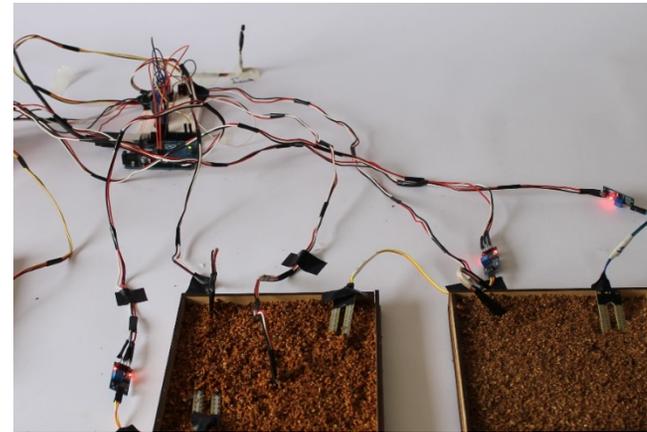


Figura 14: Sensores de humedad con Arduino en probetas. Elaboración propia.

## Resultados experimentación 2

Tabla 17: Resumen resultados experimentación 2

Aglomerante	Estabilidad morfológica	Presencia de hongos	Foto inicial	Foto final
Aloe vera	Resultado distinto al de la experimentación 1, ya que no aglutina y se desgrana.	No presenta		
Arcilla	Se quiebran rápidamente a la manipulación en ambas granulometrías.	En pequeña cantidad		
Engrudo	Se rompen al manipularlas	Al tercer día		
Acetato de polivinilo (PVAc)	Estabilidad, pero depende del porcentaje de cada componente y los primeros días deben permanecer prensadas, de lo contrario se curvan	No presenta		

Fuente: Elaboración propia. (Para mayor detalle revisar anexo 7)

A partir de los criterios de selección de muestras definidos en la experimentación 1.

Tabla 18: Selección de aglutinantes según criterios

Criterio de selección	Aglutinante que no cumple
Presencia de hongos	Engrudo
Estabilidad morfológica	Arcilla y Aloe Vera

Por tanto, solo queda el PVAc., aglutinante con el que se continúa experimentando, para probar las variables de granulometría y proporciones.

## Experimentación con el aglomerante PVAc

Se realizan probetas rectangulares de 70x150x5mm, con mezclas de cáscara y PVAc en distintos porcentajes. Las muestras resultantes fueron evaluadas a través de la observación y manipulación (ver tabla 19).

## Resultados

- Ambas granulometrías aglutinan, poseen estabilidad morfológica y no presentan hongos en más de una semana.
- Granulometría 1 aglutina en porcentajes de 60% cáscara y 40% aglomerantes y de esas proporciones hacia abajo. Sin embargo, entre los requerimientos planteados para el compuesto se encuentra "Utilizar en mayor porcentaje el residuo agroindustrial", por lo tanto se selecciona la granulometría 2, la que permite aglomerar con menos cantidad de PVAc; visualmente presentan más brillo

Tabla 19: Experimentación cáscara con PVAc.

Proporciones	Granulometría 1	Foto	Granulometría 2	Foto
<b>60%-40% Cáscara- PVAc</b>	Aglutina, presenta estabilidad morfológica y opacidad.		Presenta resistencia, brillo, estabilidad morfológica	
<b>70%-30% Cáscara- PVAc</b>	Aglutina solo en algunos sectores		Presenta resistencia, brillo, estabilidad morfológica	
<b>80%-20% Cáscara- PVAc</b>	No aglutina,	/	Las probetas se quiebran al manipularlas	
<b>90%-10% Cáscara- PVAc</b>	No aglutina		Mezcla seca, los granos se desprenden y se quiebran al manipularlas	

## RESULTADO FASE 1: Estandarización del procesamiento de probetas (Cáscara/PVAc)

Luego de que se obtiene la cáscara triturada, ésta es tamizada para obtener la granulometría definida.

Posteriormente ambos componentes, cáscara y PVAc son pesados en una balanza de precisión para obtener la cantidad necesaria según proporciones definidas previamente, luego son mezclados de manera manual y vaciados a un contenedor.

En cuanto al contenedor, este se ha elaborado en MDF de 3mm. Se utiliza corte láser para realizar contenedores ensamblables (figura 16)

Para evitar la adherencia de la mezcla al contenedor, éste se recubre con alusa plástica.

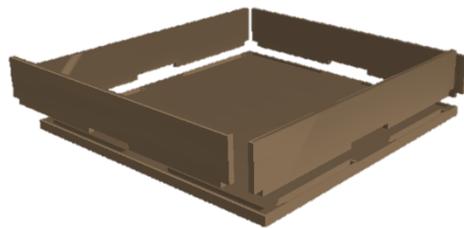


Figura 16: Contenedor ensamblable.

Por su parte, el aglomerante presenta dos requerimientos, para el proceso de secado uno tiene relación con la evaporación para secarse y el otro con la necesidad evitar que decante y queda concentrado en el fondo. Por esta razón, se revuelve varias veces la mezcla antes de vaciar al contenedor y una vez dentro, se voltea evitando que el PVAc decante y se concentre en un solo sector.

En cuanto al secado, se ha identificado que depende del espesor y la ventilación del molde, puede llegar a demorar varios días si es que la mezcla se deja a presión dentro de un molde, pues no puede evaporarse el PVAc. Por tanto, los pasos para conseguir evaporación, y presión en la mezcla se presentan a continuación:

Dejar prensando por 1 hora para que la mezcla adopte la forma, luego abrir el

molde y aplicar calor con una ampolleta infrarroja, que alcanza 35-40°C de temperatura a 25 cm de distancia, de lo contrario a mezcla se quema. Luego de 2 horas se obtienen muestras bastante secas, sin embargo aún permanece humedad atrapada, por lo tanto se prensa nuevamente, lo cual se mantiene mientras la mezcla sigue perdiendo humedad, evitando de esta manera cambios en su morfología.

Esta etapa de prensado tarda alrededor de 10 horas, el cual ha sido estimado a partir de la utilización de Arduino con sensores de humedad y el peso de las probetas por un periodo de 24 horas, el cual tiene relación con la cantidad de agua perdida producto de la evaporación (figura 15).

Las muestras aglomeradas con PVAc que siguen con estos pasos solo presentan una variación de 2mm en perímetro posterior al secado.



## Método Procedimental





- En cuanto al espesor, se desarrollan probetas de 5 y 10mm de granulometría 2; las de 5mm permiten el paso de luz, de manera no uniforme. Con espesor 10mm la luz no pasa de una cara a otra, pero permite lograr muestras con mejor acabado ya que hay mayor cantidad de mezcla para compactar y por ende presenta mayor estabilidad morfológica.
- Visualmente las probetas presentan cohesión interna, la sensación al tacto es una textura rugosa, en cuanto al olor, este es suave y característico de la madera, el color de la cáscara no varía pues el PVAc es translúcido, sin embargo otorga brillo.



# Capítulo 5

---

## CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL





## FASE 2: Pruebas y ensayos

Previo a la realización de pruebas y ensayos se calcula la densidad del material compuesto.

Los datos referenciales previos, según revisión bibliográfica de los componentes del material corresponden a:

- Cáscara de nuez: 620 kg/m<sup>3</sup> (L.H. & W.E., 2000)&(Torres, 2010)
- PVAc: 1180-1200 kg/m<sup>3</sup> (Wypych,2016)

La densidad del material se calcula a partir de la fórmula:

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

M: Masa  
V:Volumen

Obteniendo como resultado luego de evaluar 5 probetas, una densidad de 600-700 kg/m<sup>3</sup>, densidad que es muy similar a la de las maderas ligeras o medianas que comprenden entre 500 y 700 kg/m<sup>3</sup> (Beylerian, Quinn, & Dent, 2008).

## 5.1 Pruebas de mecanizado

Como parte del proceso de conocer y caracterizar el material, este se somete a pruebas de mecanizado, tomando como referencia la norma ASTM D1666-87 (Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials), la cual establece el procedimiento a seguir para la realización de ensayos de trabajabilidad en madera, y así conocer el comportamiento del material luego de ser procesado con distintas máquinas y herramientas cortantes (ASTM, 2004).

El equipamiento utilizado corresponde al que se encuentra disponible para los estudiantes de Diseño industrial en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

La cantidad de muestras definidas por la norma para obtener un resultado representativo en caso de tratarse de pruebas exploratorias son cinco, por tanto se someten a ensayo cinco muestras de 150x70mm con espesor 5mm y cinco con un espesor de 10mm a excepción del corte láser en que solo son de 5mm.

La evaluación se debe realizar a partir de una inspección visual. Por tanto a partir de la observación del acabado de la superficie, se utiliza la clasificación del maquinado propuesta por Frühwald y otros en 1992 (Rodríguez et al., 2015), en la que existen cinco clases definidas según la magnitud de los defectos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20: Clases según defectos en el material.

Clase 1	Muy buena, sin defectos
Clase 2	Buena, defectos de intensidad mínima (puede eliminarse con lija número 100)
Clase 3	Satisfactorio, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajado (puede eliminarse con lija gruesa, número 60 y luego fina del número 100)
Clase 4	Suficiente, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajo, pero con mayor aplicación
Clase 5	Deficiente, defectos graves

Fuente: Elaboración propia, basado en (Flores-Velásquez, Rangel-Piñón, Quintanar, Fuentes-López, & Vasquez-Silva, 2007; Rodríguez et al., 2015)

### Equipos y herramientas

El equipamiento utilizado en cada uno de los ensayos de maquinado se presentan a continuación:



## CORTE

### Esmeril

Equipo marca Bosch, modelo GWS 6-115, con una potencia de 670 Watts y velocidad de 11000 RPM. El disco de corte utilizado es de acero, el diámetro es 115 mm con 1 mm de espesor (figura 17)

### Sierra ingletadora

Se utiliza una sierra marca Bosch, modelo CGM 10M, posee una potencia de 1800 Watts y velocidad de 4700 RPM, la cual se utiliza para realizar cortes precisos en diferentes tipos de materiales como metal, madera o fierro. Además posee como ventaja la capacidad de ajustarse a distintos ángulos, sin embargo en esta investigación como primer acercamiento solo se utiliza en 90°, dejando la posibilidad de trabajarlo a futuro en diferentes ángulos a partir de los resultados obtenidos (figura 18).

### Corte sierra de huincha

Se utiliza un equipo marca Itaka, modelo RBS 350A, posee un motor de 1.100 W, un máximo de corte de 230 mm y velocidad de corte de 500/1000 m/min (Ver figura 19).

### Corte láser

Para el corte en láser, se utilizan probetas de 150x70x5mm, con distintos porcentajes y distintas granulometrías, variando velocidad y potencia. Se evalúan muestras con un espesor de 5mm (Ver figura 20).



Figura 17: A. Corte con esmeril; B. Esmeril

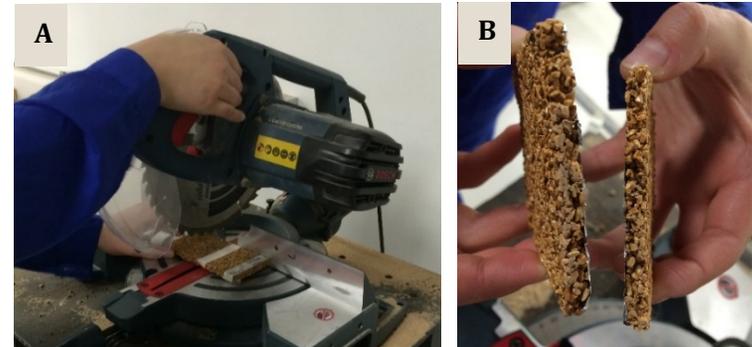


Figura 18: A. Corte sierra ingleteadora; b. Resultado.

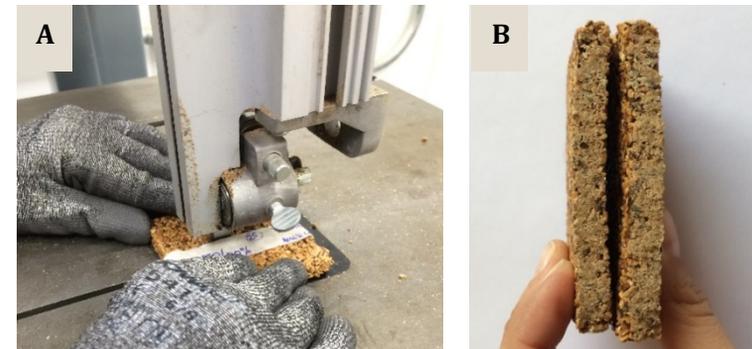


Figura 19: Corte con sierra de huincha; B. Resultado

## Resultados corte

A partir de la calidad de acabado del corte en las probetas se realiza la evaluación:

Probetas 5 mm espesor

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Esmeril		x			
Sierra ingletadora				x	
Sierra de huincha				x	
Láser	X				

Probetas 10 mm espesor

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Esmeril		x			
Sierra ingletadora				x	
Sierra de huincha		x			

El esmeril permite realizar cortes en las muestras, sin desprender trozos, sin embargo se produce una especie de plastificado en la cara cortada, asumiéndose que esto ocurre a partir del calor que se genera al cortar. En el caso de la sierra ingleteadora, se desprenden trozos en ambos espesores, por lo cual se requiere un paso de trabajo posterior para un mejor acabado. La sierra de huincha por su parte, deja un corte parejo y bien acabado, resultando mejor en espesor 10 mm pues en 5 mm se desprenden trozos. Finalmente el corte láser deja la zona de corte con un color más oscuro al quemarse, lo cual es normal en los distintos materiales.

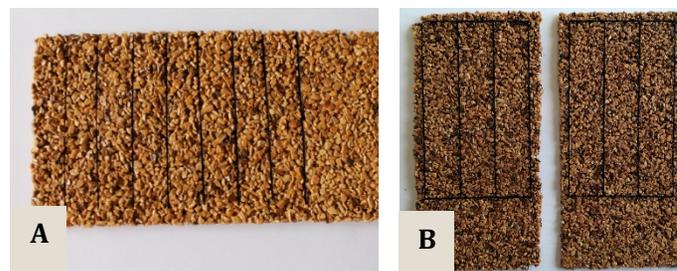


Figura 20: A. Probeta prueba corte láser; B. Probetas corte láser.

## PERFORACIÓN

### Taladro pedestal

El equipo utilizado es marca Itaka, modelo RDM-2001FN, posee un motor de 750W/ 1 hp y en cuanto a la velocidad posee un mínimo de 180 y máximo de 2,740 RPM. Se realizan cinco agujeros con brocas para madera de 3 y 7 mm (Ver figura 21a).

### Taladro manual

El equipo es marca De Walt, modelo DWD024-B2 posee potencia de 650 W y velocidad de 0 a 2800 RPM. Se realizan cinco agujeros y se utilizan brocas para madera de 3 y 7 mm (Ver figura 21b).

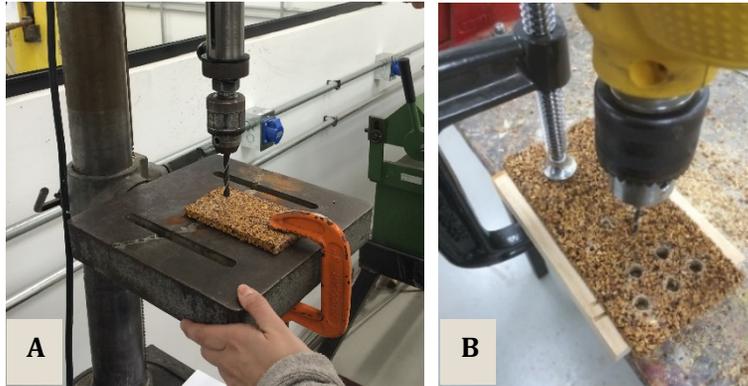


Figura 21: A. Perforado con taladro de pedestal; B. Perforaciones taladro manual.

## Resultados perforación

A partir de la calidad de acabado de perforación en las probetas se realiza la evaluación:

Probetas 5 mm espesor

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Taladro pedestal					x
Taladro manual					x

Probetas 10 mm espesor

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Taladro pedestal		x			
Taladro manual		x			

Con el taladro de pedestal, en probetas de 5 mm, las perforaciones de 3 y 7 mm no quedan circulares pues se desprenden granos. Al realizarlas cerca del borde (15mm aproximadamente) se desprende parte de la probeta, en cambio las probetas de 10 mm de espesor se comportan mucho mejor, presentando pequeñas picaduras que podrían ser reparadas en un siguiente paso. Al realizarse con taladro manual, funciona bastante parecido.

## TORNEADO

El torneado es una operación que consiste en hacer girar una pieza para darle forma con una herramienta cortante, generalmente se usa para fabricar pies de lámparas, patas de cama, mangos para herramientas, partes para muebles y juguetes, entre otros (Moya, Leandro, Córdoba, Serrano, & Monge, 2004 ).

Para el ensayo se utiliza un torno para madera, marca Itaka, modelo RWL 1000GV, el cual posee entre 600 y 2200 RPM, y su motor corresponde a 550W.

Se utilizan limas y escofinas, las probetas a ensayar son cilindros de 8cm de diámetro y 3 cm de espesor. Previo a la realización debido a las pequeñas dimensiones de la probeta y evitar daños en las mismas, se adiciona una pieza cuadrada de MDF de 9mm de espesor.

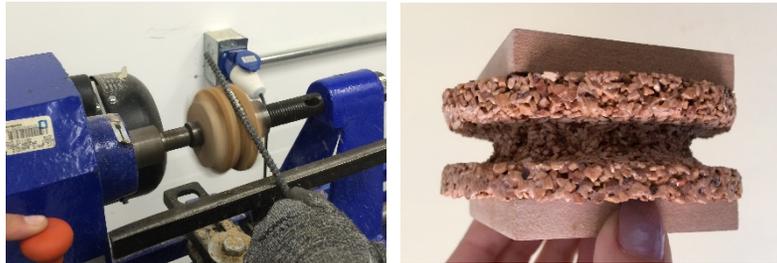


Figura 22:A. Torneado con escofina ; B. Resultado en probeta.

## Resultados Torneado

A partir de la calidad de acabado en las probetas se realiza la evaluación:

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Torno para madera		x			

La velocidad se va aumentando gradualmente hasta llegar al máximo y las herramientas se van probando una a una, primero con lima, luego con escofinas (figura 20), logrando devastar, sin embargo, se observa que estas se saturan a causa del aglomerante.

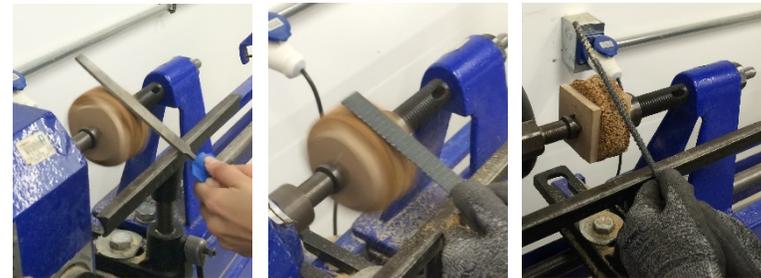


Figura 23: A. Uso de Lima; B. Escofina; C. Escofina cilíndrica.

## 5.2 Ensayos

### 5.2.1 Ensayos mecánicos

Para llevar a cabo los ensayos mecánicos, se utiliza una máquina especializada para evaluar esfuerzos en los materiales de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM). Se realizan en dos sets de muestras con porcentajes distintos, la cantidad de probetas para cada ensayo se presenta en la tabla 21.

Tabla 21: Datos iniciales ensayos mecánicos.

	N° probetas	Espesor (mm)	Ancho (mm)
<b>Tracción</b>	10	5	20
<b>Compresión</b>	5	5	20
<b>Flexión</b>	6	10	22

Fuente: Elaboración propia.

### Prueba mecánica de tracción

Para el procedimiento la probeta es sujeta en ambos extremos con mordazas a 1 cm de distancia, una fija y otra móvil, luego se aplica una fuerza constante hasta que la probeta presenta rotura. La velocidad con que trabaja la máquina es 2mm x minuto.



Figura 24: A. Muestras previo a las pruebas (cortadas con láser). Elaboración propia; B. Equipamiento para ensayos de tracción y compresión. Elaboración propia.

### Prueba mecánica de compresión

Para el procedimiento la probeta es sujeta en ambos extremos con mordazas al igual que en tracción a 1 cm de distancia.



Figura 25: Muestra en compresión. Elaboración propia.

### Prueba mecánica de flexión

Para el procedimiento la probeta es colocada sobre dos apoyos en los extremos, a 10 cm.

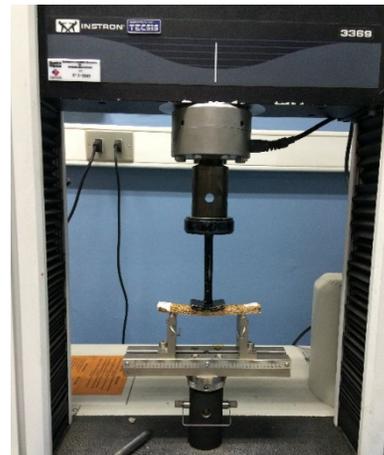


Figura 26: Máquina de ensayo flexión. Elaboración propia.

### Resultados

Tabla 22: Set 1 (60-40%)

	COMPRESIÓN	TRACCIÓN	FLEXIÓN
$\sigma_f$ (Esfuerzo fluencia)	7,53 +/- 2.96 kgf/cm <sup>2</sup> 0,74 MPa	8,15 +/- 2.35 kgf/cm <sup>2</sup> 0,799 MPa	18,1 +/- 4.06 kgf/cm <sup>2</sup> 1,78 MPa
$\sigma_{max}$ (Esfuerzo)	23,42 kgf/cm <sup>2</sup> 2,29 MPa	16,75 kgf/cm <sup>2</sup> 1,64MPa	40,70 kgf/cm <sup>2</sup> 3,99 MPa
E (Módulo elástico)	2,76E-03 kgf/cm <sup>2</sup>	8,22E-04 kgf/cm <sup>2</sup>	3,67E-03 kgf/cm <sup>2</sup>

Tabla 23: Set 2 (70-30%)

	COMPRESIÓN	TRACCIÓN	FLEXIÓN
$\sigma_f$ (Esfuerzo fluencia)	13,03 +/- 2.89 kgf/cm <sup>2</sup> 1,28 MPa	2,9 +/- 0,93 kgf/cm <sup>2</sup> 0,26 MPa	10.08 +/- 2.95 kgf/cm <sup>2</sup> 0.99 MPa
$\sigma_{max}$ (Esfuerzo)	21,25 kgf/cm <sup>2</sup> 2,08 MPa	11,12 kgf/cm <sup>2</sup> 1,09 MPa	12,98 kgf/cm <sup>2</sup> 1,27 MPa
E (Módulo elástico)	2,03E-03 kgf/cm <sup>2</sup>	1,09E-03 kgf/cm <sup>2</sup>	8,30E-03 kgf/cm <sup>2</sup>

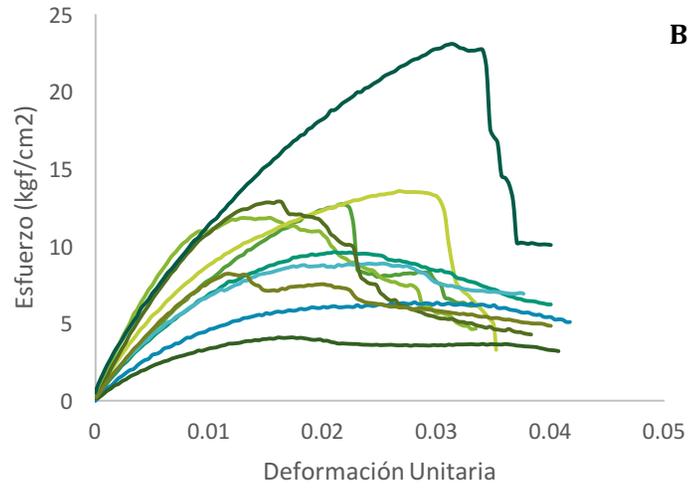
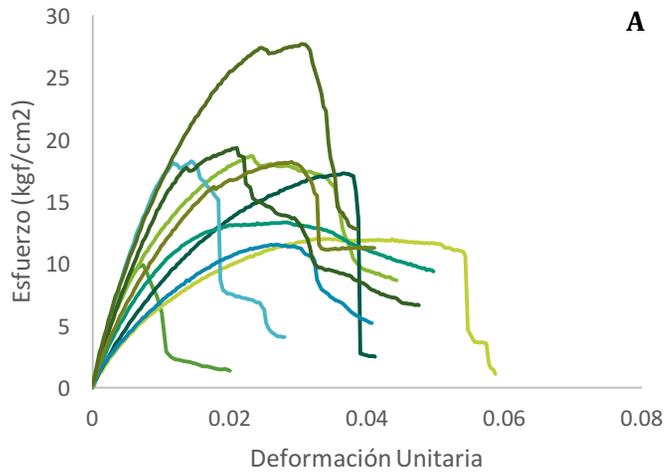


Figura 27: A.Tracción 60-40%; B.Tracción 70-30%

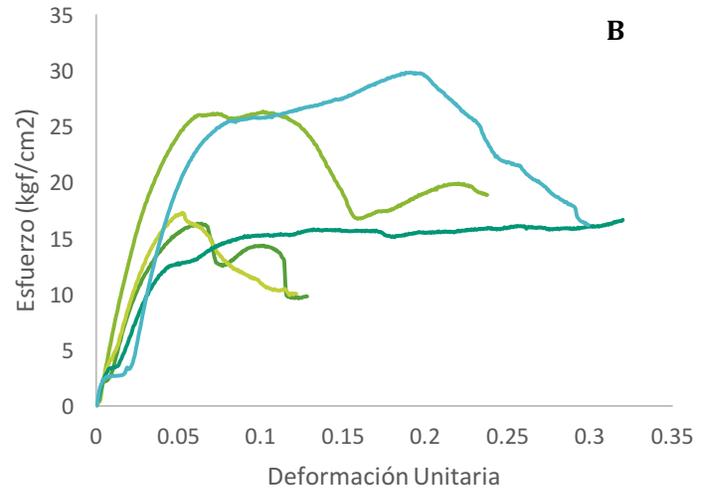
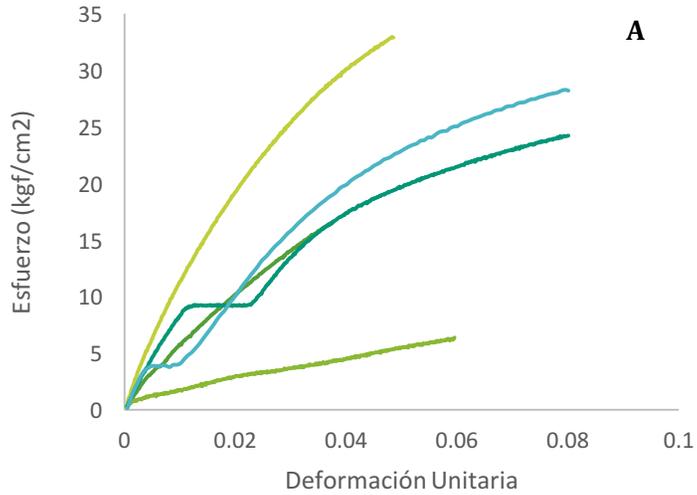


Figura 28: A. Compresión 60-40%; B.Compresión 70-30%

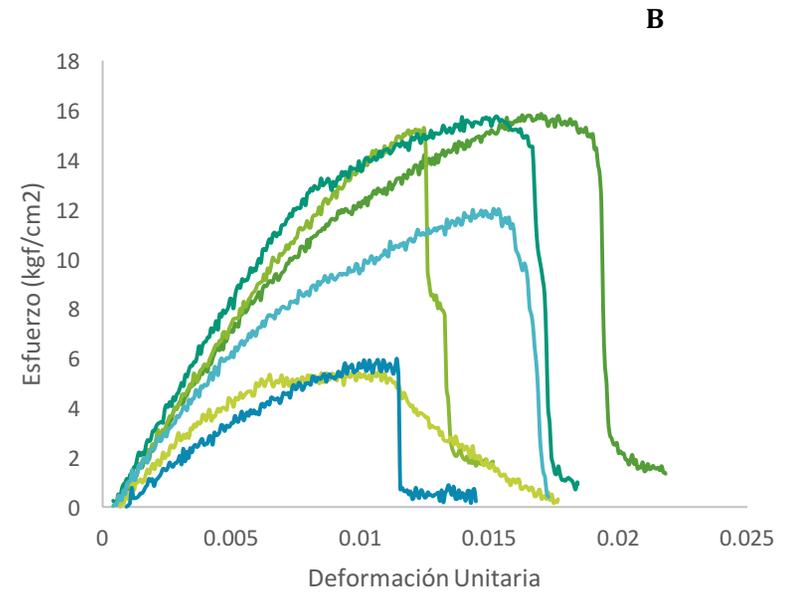
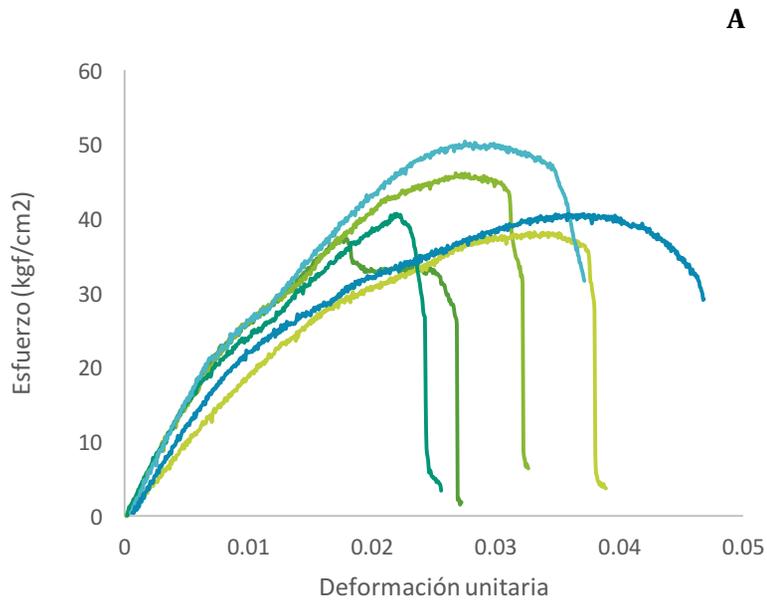


Figura 29: A. Flexión 60-40%; B. Flexión 70-30%

En cuanto al rendimiento mecánico se observa que al momento de la fractura, la propagación corre de manera discontinua rompiendose de a poco a lo largo del tiempo, esto ocurre por los granos que posee la muestra.

El módulo elástico, presenta un valor muy bajo, lo que significa que el material tiene un comportamiento elástico. Por su parte el esfuerzo de fluencia es el punto usado para el diseño y conformado de productos.

Las bajas propiedades mecánicas de la muestra podrían deberse a la discontinuidad material del compuesto.

Con el propósito de identificar las características mecánicas del material compuesto con respecto a materiales existentes se utiliza el Software CES EduPack (2013), el cual proporciona una amplia base de datos con información sobre materiales y sus procesos.

Para encontrar los materiales similares, se realiza una búsqueda por una parte de esfuerzo de fluencia y densidad en flexión (tabla 24), esfuerzo de fluencia y densidad en tracción y compresión (tabla 25) y por otra de módulo de flexión y densidad en tracción, compresión y flexión (tabla 26).

<b>FLEXIÓN</b>	Material	Esfuerzo Fluencia	Material	Esfuerzo Fluencia
<b>Familia de materiales similares</b>	<b>Compuesto Set 1</b>	<b>1,78 MPA</b>	<b>Compuesto Set 2</b>	<b>0,99 MPA</b>
Materiales Naturales	-Pino (Pinus Palustris)	1,74-2,16 MPA		
	-Tamarack (Taxus Brevofoia)	1,5-1,8 MPA		
	-Larch (Larix Occidentalis)	1,62-1,98 MPA		
Espumas	- Espuma de Zirconia Mullita y Alúmina (0,63)	0,8-1,8 MPA	-Espuma de Zirconia Mullita y Alúmina (0,63)	0,8-1,8 MPA
	-Espuma de Mullita (0,65)	0,6-1,8 MPA	-Espuma de mullita (0,65)	0,6-1,8 MPA
	-Espuma de Alumina(0,745)	0,9-2,2 MPA	-Espuma de Mullita (0,70)	0,6-1,6 MPA
Cerámicos			- Hormigón aireado	0,6-1,1 MPA

Tabla 24: Materiales similares en cuanto a esfuerzo de fluencia/densidad

Tal como se observa en la tabla 24, a partir de la densidad del material y su esfuerzo de fluencia se asemeja a algunos materiales naturales, específicamente maderas de densidad ligera (520-730 kg/m<sup>3</sup>) y a espumas; el set 2 de proporciones 70% cáscara-30% aglomerante además de ser similar a espumas, posee un esfuerzo y densidad similar al hormigón aireado, que corresponde a un cerámico.

Tabla 25: Materiales similares en cuanto a esfuerzo de fluencia/densidad

TRACCIÓN-COMPRESIÓN	Material	Esfuerzo Fluencia	Material	Esfuerzo Fluencia
Familias de materiales similares	Compuesto Cáscara/PVAc Set 1	Tracción: <b>0,79 MPA</b> Compresión: <b>0,74 MPA</b>	Compuesto Cáscara/PVAc Set 2	Tracción: <b>0,26 MPA</b> Compresión: <b>1,28 MPA</b>
Materiales Naturales			Larch (Larix Decidua)	1,2-1,44 MPA
Espumas	-Espuma de Mullita (0,65)	0,6-1,8 MPA	-Espuma de Zirconia Mullita y Alúmina (0,63)	0,8-1,8 MPA
	-Espuma de Mullita (0,70)	0,6-1,6 MPA	-Espuma de mullita (0,65)	0,6-1,8 MPA
	-Espuma de Alúmina(0,61)	0,6-2,1 MPA	-Espuma de mullita (0,70)	0,6-1,6 MPA
Cerámicos	- Hormigón aireado	0,6-1,1 MPA		
	-Ladrillo refractario de baja densidad (0,75)	0,75-0,95 MPA		

Tabla 26: Materiales similares en cuanto esfuerzo de fluencia/densidad

En ensayos de tracción y compresión, a partir de la densidad del material y su esfuerzo de fluencia al igual que en flexión son similares los materiales naturales y a diferencia de flexión los cerámicos aparecen como similares a la mezcla de proporciones 60-40%.

TRACCIÓN-COMPRESIÓN-FLEXIÓN	Material	Módulo elástico
Materiales similares	Compuesto Cáscara/PVAc Set 1 y Set 2	Set 1: <b>8,06E-9 – 3,59E-8 GPA</b> Set 2: <b>1,06E-8 – 8,13E-8 GPA</b>
Espumas	Espuma de poliuretano microcellular (closed cell 0,70)	0,0032-0,00486 GPA

Tabla 27: Materiales similares en cuanto a módulo elástico/densidad

El material que más se asemeja en cuanto a módulo elástico es la espuma de poliuretano microcelular.

### 5.2.2 Ensayo térmico

Para conocer el comportamiento térmico del compuesto, este se ensaya a partir del proyecto de tesis de estudiantes de ingeniería de ejecución en climatización, que tiene como objetivo diseñar un montaje experimental que permita el estudio del comportamiento térmico convectivo de un material constructivo.

El ensayo se realiza en las dependencias de la Universidad de Santiago de Chile, en el departamento de Ingeniería mecánica. Para llevarlo a cabo se ha implementado un ducto de sección cuadrada de 10 cm y 2 metros de largo, en el cual se insertan las probetas: una en posición horizontal paralela al flujo y la otra al final del ducto en posición vertical, perpendicular al flujo y se agrega una carga térmica convectiva al flujo para identificar el comportamiento de las probetas. Los sensores utilizados para medir la temperatura en cada cara de la probeta son termocuplas de superficie de contacto (Sellao & Castillo, 2015).

Por tanto como se observa en la figura 30, el ensayo consiste en posicionar una primera probeta (A) de 40x40mm horizontalmente a 1.60 m de distancia del ventilador, pues a 1.50 m el flujo ya se ha desarrollado y una segunda probeta (B) de 40x50 mm, verticalmente al final del túnel, distancia que corresponde a 2 m (ver anexo 8).

El flujo de aire inyectado comienza con una temperatura de 20°C y se realizan variaciones cada 10°, alcanzando como temperatura máxima los 60°C dado los materiales y componentes utilizados para la construcción del dispositivo de ensayos.

El primer acercamiento a ensayos térmicos, se realiza usando un trozo de Masisa al cual se adiciona una capa de cáscara de nuez molida. Se observa un delta de 20° de temperatura entre una cara y otra, lo cual significaría un gran potencial, ya que el valor a simple vista es bueno para calificar la cáscara de nuez como aislante y deja a simple vista buenos resultados, por lo tanto es fundamental continuar con ellos.

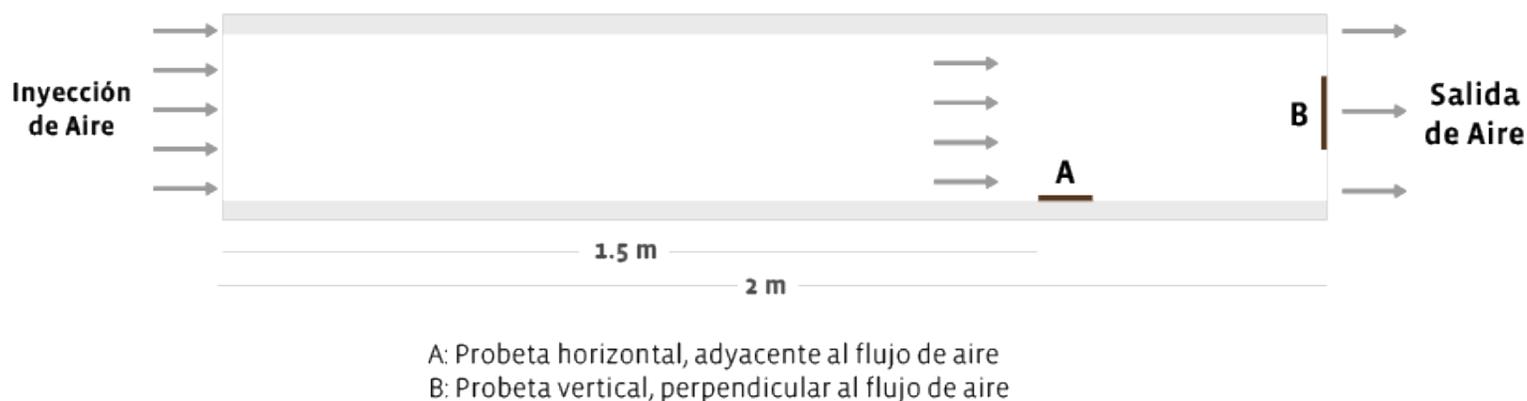


Figura 30: Ducto con flujo de aire y posición de las probetas. Elaboración propia.

### 5.2.2.1 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales, tiene que ver con la capacidad de transferir calor de una partícula a otra por medio del contacto, se relaciona con la densidad, la temperatura y la humedad del material. La densidad tiene relación con la cantidad de poros que puede tener un cierto material, al ser menor la densidad se está aumentando la cantidad de poros, de esta manera disminuye la conductividad, por su parte la humedad o presencia de agua en el material aumenta su conductividad térmica y a medida que la temperatura es más elevada, la conductividad también será mayor (Erazo, 2007). Es importante rescatar que aquellos materiales que presenten un bajo valor de conductividad térmica, serán malos conductores, lo que quiere decir aislantes.

En general los materiales que poseen la capacidad de ser aislantes térmicos corresponden a materiales porosos o fibrosos

Respecto de los componentes del material a ensayar, para la cáscara de nuez se desconoce su conductividad y el PVAc presenta según bibliografía revisada una conductividad de 0,159 (W/mK) (Nijenhuis & Krevelen, 2009; Wypych, 2016a).

Para determinar la conductividad del material, se evalúan dos sets de muestras con proporciones distintas entre cáscara y aglomerante, para cada muestra la cantidad de probetas son cuatro que se ubican horizontalmente y cuatro verticalmente y la densidad de las probetas se encuentra entre 600 y 700 kg/m<sup>3</sup>.

La conductividad en las probetas se evalúa a 20°C y en base a la diferencia de temperatura registrada en cada cara de las probetas; el área y espesor. Se aplica la fórmula de conductividad considerando que para esta temperatura se utilizan 0,06 KW de potencia de trabajo.

$$Q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

K=conductividad térmica (W/mK)

A= área (m<sup>2</sup>)

$\Delta T = (t_2 - t_1)$

L= espesor (m)

## Resultados

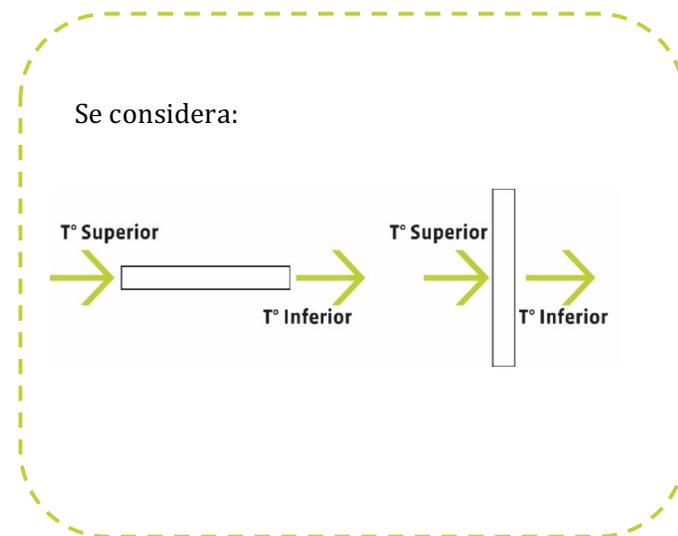
A partir de los datos obtenidos, se calcula la diferencia de temperatura entre las caras de las probetas, a lo largo de las diferentes temperaturas (20°-60°C):

Tabla 28: Familia 1 (60-40%)

	<b>Probeta horizontal</b>	<b>Probeta Vertical</b>
Promedio T° superior*	34,89 °C	31,42 °C
Promedio T° Inferior*	27,15 °C	28,70 °C
Diferencia de T°	7,74 °C	2,72 °C

Tabla 29: Familia 2 (70-30%)

	<b>Probeta horizontal</b>	<b>Probeta Vertical</b>
Promedio T° superior*	33,33 °C	30,78 °C
Promedio T° Inferior*	24,44 °C	24,41 °C
Diferencia de T°	8,89 °C	6,37 °C



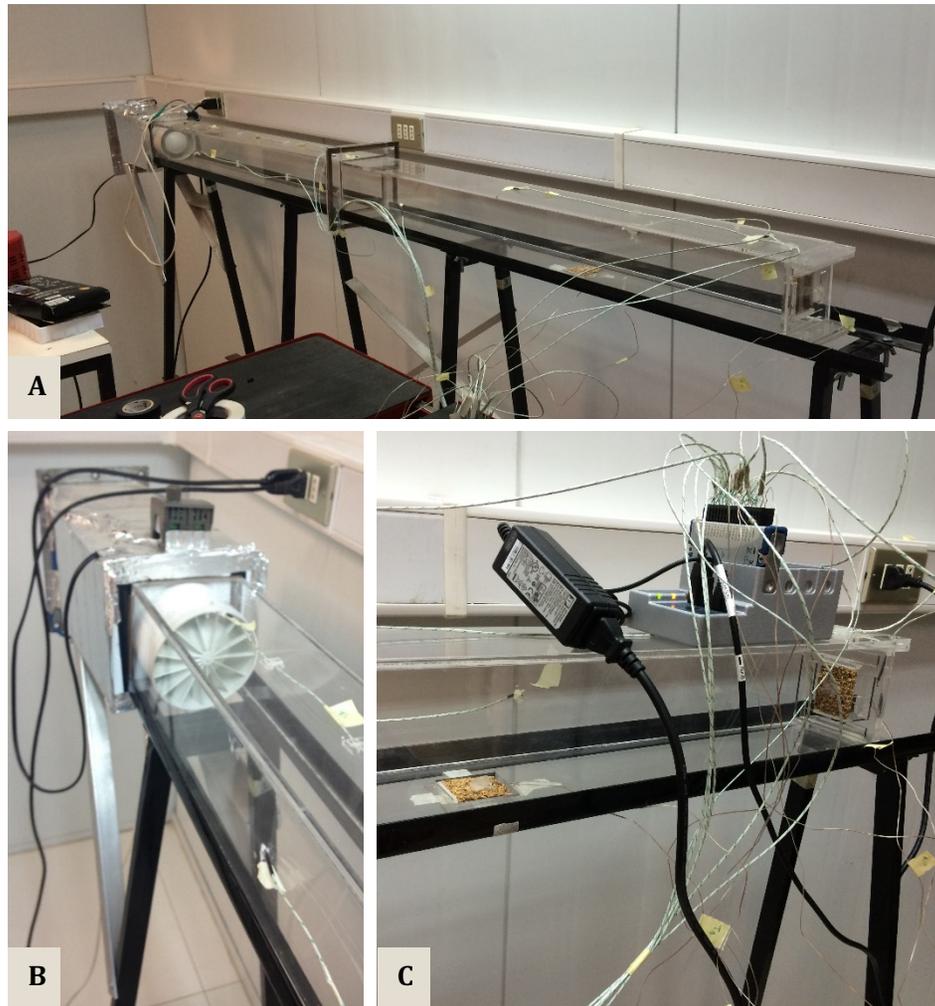


Figura 31: A. Ducto para ensayo; B. Zona inicio y ventilador; C. Zona final y probetas.

- Inicialmente, ambas probetas se encuentran a la misma temperatura ambiente, alrededor 20°C. Al aumentar la temperatura del flujo de aire, se observa en todo instante que la probeta en posición horizontal alcanza temperaturas más altas en la superficie superior, que la superficie superior de la probeta que se encuentra en posición vertical.
- Se observa que durante todo el experimento el gradiente de temperatura es mayor en la probeta horizontal que en la probeta vertical.
- El cálculo de conductividad térmica que se realiza a partir de la formula mencionada anteriormente, entrega los datos que se encuentran en la tabla 30, los cuales permiten identificar que las muestras de la familia 1 presenta mejor aislación térmica (tabla 30).

Tabla 30: Conductividad térmica según proporciones

	Conductividad W/mK
Familia 1	0,068
Familia 2	0,101

## El compuesto en relación a otros materiales

A partir de la conductividad que presenta el material, se identifica que la cáscara mejora la conductividad que presenta por si solo el PVAc esto ocurre en ambas familias de muestras.

Luego, con el fin de identificar la relación de conductividad del material compuesto estudiado con respecto a otros existentes se utiliza el Software CES EduPack (2013), el cual proporciona una amplia base de datos con información sobre materiales y sus procesos.

Tabla 31: Conductividad térmica del compuesto y similares.

Los resultados según la base de datos del software muestran que a partir de la densidad y conductividad térmica, el compuesto se asemeja a la familia de materiales naturales y a la de espumas (tabla 31).

	Material Compuesto Cáscara/PVA <b>Familia 1</b>	Conductividad Térmica A 20°C <b>0,068 K (W/mk)</b>	Material Compuesto Cáscara/PVA <b>Familia 2</b>	Conductividad Térmica A 20°C <b>0,101 K (W/mk)</b>
Familia: Materiales naturales	Cartón corrugado (cardboard)	0.06 - 0.17 W/m.°C	Cartón corrugado	0.06 - 0.17 W/m.°C
			Parana-pino (Araucaria)	0.086 - 0.105 W/m.°C
			Avodire	0.09 - 0.11 W/m.°C
			Pino (pinus serótina)	0.096 - 0.117 W/m.°C
Familia: Espumas			Espuma de PVC	0.09 - 0.1 W/m.°C

Otra manera de comparar el material con materiales existentes es considerando solo su conductividad térmica y no densidad como el caso anterior, para esto se han seleccionado algunos materiales con sus respectivas conductividades térmicas (tabla 32 y 33), obtenidos de la Norma Chilena 853.Of91. Los valores se han medido a una temperatura media de 20°C, en estado estacionario y por medio del anillo de guarda.

Tabla 32: Conductividad térmica de las maderas

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/mK)
<b>Cáscara de nuez-PVAc</b>	<b>600-700</b>	<b>0.068</b>
Álamo	380	0,091
Alerce	560	0.134
Coigue	670	0.145
Lingue	640	0.136
Pino insigne	410	0.104
Raulí	580	0.121
Roble	800	0.157

Fuente: Elaboración propia, basado en (Instituto Nacional de Normalización, 1991)

Tabla 33: Conductividad térmica de diversos materiales

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/mK)
<b>Cáscara de nuez-PVAc</b>	<b>600-700</b>	<b>0.068</b>
Yeso Cartón	650	0,24
Plancha de corcho	400	0,066
	500	0.074
Poliestireno expandido	30	0,0361
Adobe	1100-1800	0.9
Aserrín de madera	190	0.06
Hormigón de viruta de madera	450-650	0.26
Hormigón de fibras de madera	500-600	0.16
Hormigón liviano a base de cascarilla de arroz	570	0.128
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	640	0.214
Lana Mineral, colchoneta libre	120	0.042
Maderas, tableros aglomerados de partículas	650	0.106
Maderas, tableros de fibra	850	0.23

Fuente: Elaboración propia, basado en (Instituto Nacional de Normalización, 1991)

## Materiales respecto su conductividad térmica

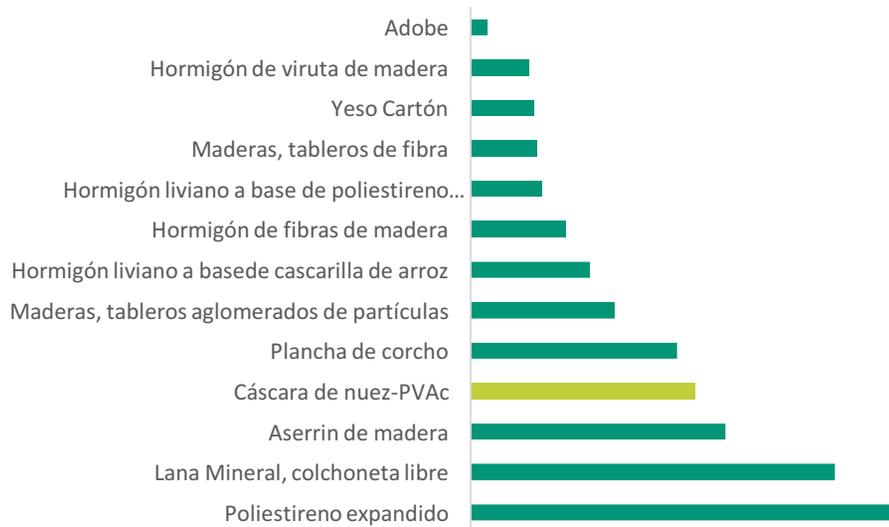


Figura 32: Gráfico conductividad térmica diversos materiales

- Al compararlo con una plancha de corcho, se asimila a una plancha de densidad 400 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto el material en base a cáscara de nuez es más denso y aísla más. En el caso del yeso cartón, a una densidad de 650 kg/m<sup>3</sup> que sería similar a la del compuesto, este posee una conductividad de 0,24, por tanto menos aislante que el compuesto de cáscara.
- De igual manera, se identifica que es mejor aislante térmico que el yeso cartón, adobe, distintas maderas de y bastante similar al aserrín de madera.

## Comparación según conductividad térmica con maderas

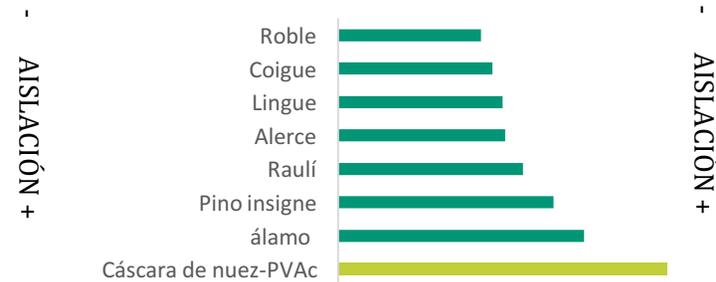
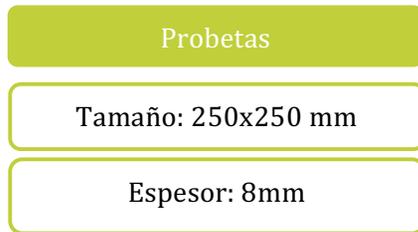


Figura 33: Gráfico conductividad térmica en maderas

### 5.2.3 Comportamiento al fuego

Se realiza un ensayo para conocer el comportamiento al fuego del compuesto, dado que no se le ha asignado un uso, se utiliza como referencia la norma JAR 23.865, la cual está enfocada en protección contra incendios de controles de vuelo, motor y otros; de la cual se toman como referencia el tamaño de las probetas, procedimientos a realizar y criterios evaluación, en el cual la fuente de calor corresponde a un soplete a gas e indica que la duración media de combustión del material no puede exceder de 152,4 mm (6 pulgadas) y el tiempo medio de llama después de la eliminación de la fuente de llama no puede ser superior a 15 segundos (AutoridadesAviaciónCivil, 1994).

Las probetas a ensayar corresponden a dos para cada Set o familia, las cuales al igual que en los ensayos anteriores poseen variaciones en las proporciones de sus componentes; familia 1 corresponde a 60-40% y familia 2 a 70-30%, siendo siempre mayor la cantidad de cáscara.



La exposición a la flama estuvo a cargo de dos personas del laboratorio de Ingeniería mecánica de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), uno de ellos aplicó la flama a la probeta, situando la punta de la flama en el centro de la probeta. El tamaño de la flama y la temperatura del equipamiento que posee el laboratorio permiten alcanzar hasta 800°C, temperatura identificada a partir del uso de un termómetro láser digital. Después de retirar el soplete se esperó

un tiempo para observar si ocurría la extinción de la flama. Se registró el tiempo que duró la flama, y el tiempo después de extinguirse la flama y en caso de no apagarse la flama, se apaga con agua.

### Resultados

	Tiempo de exposición a la flama	Temperatura Máxima	Tiempo después de la eliminación de la fuente de flama
Familia 1	30segundos	500°C	Se apaga con agua al segundo 78.
	60segundos	637°	Auto extingible luego de 12 segundos de retirar la flama.
Familia 2	28segundos	800°C	Se apaga con agua al segundo 45.
	24segundos	600°C	Auto extingible luego de 4 segundos de retirar la flama.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34: Ensayo comportamiento al fuego.

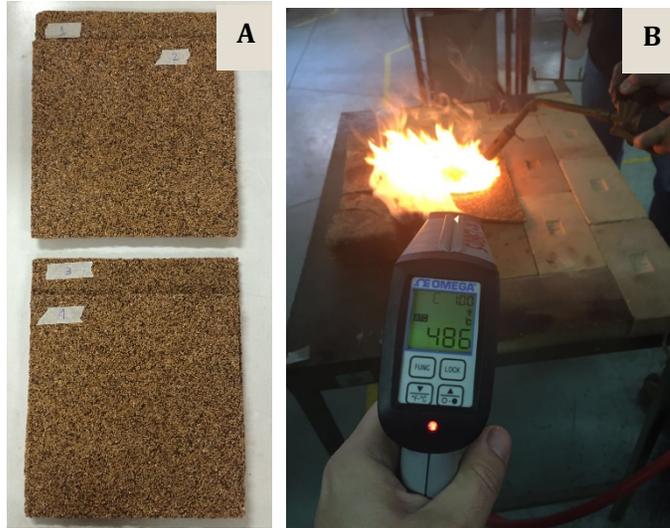


Figura 35: A. Probetas previo al ensayo;  
B. Termómetro láser utilizado

- En todas las muestras ensayadas se observa que la llama se concentra en el centro de la probeta, produciéndose una perforación, pero no gotea ni se propaga más de 5cm.
- A causa de la alta temperatura aplicada, las probetas quedan flexibles y comienzan a curvarse, esto hasta volver a su estado inicial.
- El diámetro de las perforaciones corresponde a:
  - p1 → 5x4 cm
  - p2 → 4x3,5 cm
  - p3 → 3x3,8 cm
  - p4 → 2,5x2,5 cm

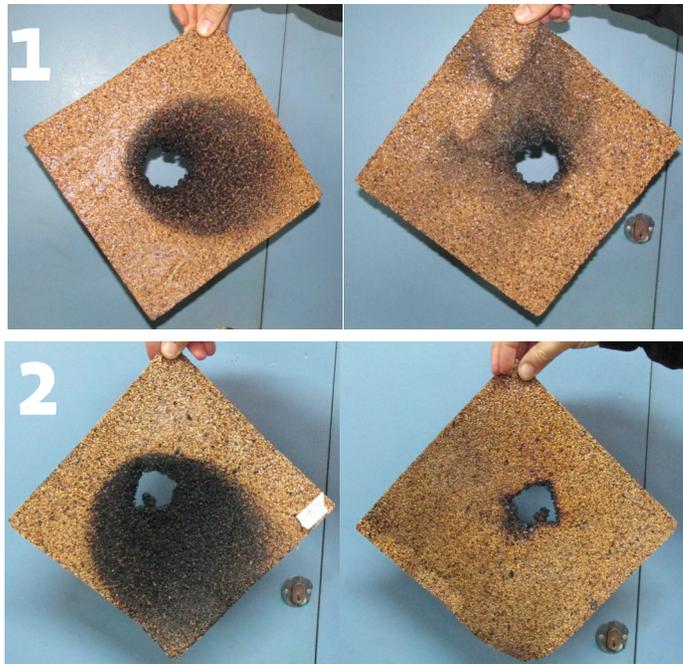


Figura 36: Probeta 1; Probeta 2. En ambas se presenta cara superior e inferior respectivamente.

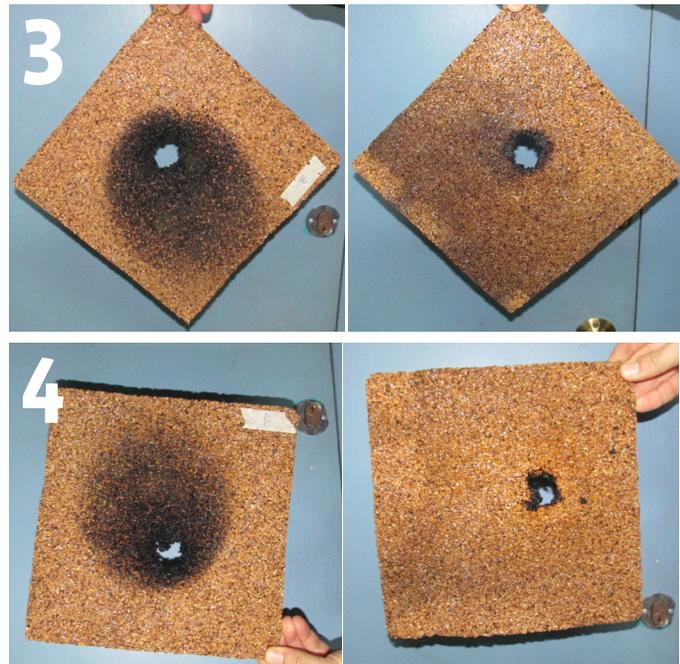


Figura 37: Probeta 3; Probeta 4. En ambas se presenta cara superior e inferior respectivamente.

#### 5.2.4 Absorción de humedad y determinación de la hinchazón de espesor luego de inmersión en agua.

Absorción de humedad:

Para conocer la absorción de humedad del material, se toman como referencia las normas ASTM D1037 y EN 317, el tamaño de las muestras de ensayos corresponde a  $50 \pm 1$  mm (AENOR, 1993). Consiste en sumergir las muestras horizontalmente en agua en reposo, a una temperatura de  $20 \pm 1$  °C, el tiempo de inmersión depende del método seleccionado A/B, en este caso se realiza en base al método A.

Para determinar la absorción de humedad se debe registrar el peso de la probeta al inicio, luego de dos horas y después de 22 horas más. La cantidad de probetas corresponde a 4 por cada familia. (AENOR, 1993) (AENOR, 1993)

Determinación de la hinchazón de espesor:

Las muestras son las mismas, pero para conocer su hinchazón se debe medir el espesor en el centro de las probetas luego de dos horas y al igual que para la absorción después de 22 horas más.

A partir de revisión bibliográfica, previo al ensayo se sabe que el PVAc absorbe de 3 a 6% de agua en equilibrio, evaluado en agua a 23°C .

#### Resultados

- Para conocer el hinchamiento se intentó medir el espesor, sin embargo, el PVAc es hidrosoluble (Wypych, 2016), por tanto como se esperaba al estar las probetas sumergidas en agua, este comienza a disolverse y luego de dos horas, al momento de sacar las probetas para medir su nuevo espesor y pesarlas se desprenden trozos (ver figura 39). No es posible manipularlas para medir con pie de metro su espesor, por tanto solo se pesan para identificar absorción de agua, lo cual se indica en cuanto a variación de masa en gramos y en porcentaje en la tabla 34 para familia 1 (60-40%) y tabla 35 para familia 2 (70-30%).
- Luego de cumplir las 24 horas las probetas de la familia 1 no pueden ser evaluadas pues se han desintegrado, quedando trozos pequeños; el comportamiento de la familia 2 se presenta en figura 39.

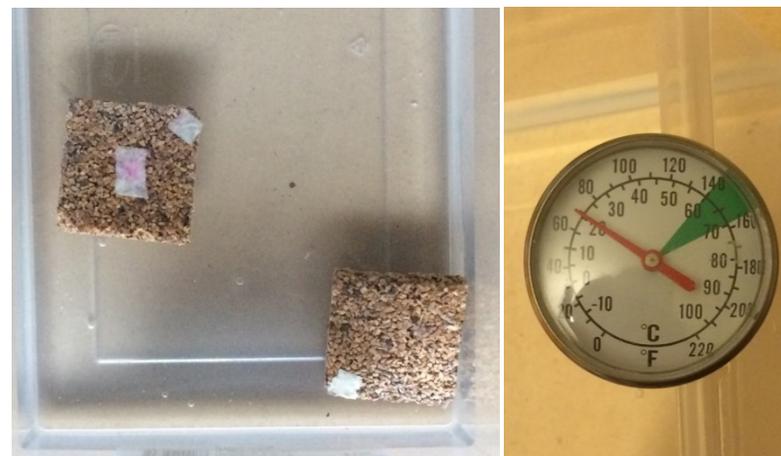


Figura 38: A. Probetas sumergidas; B. Termómetro que indica los 20°C para realizar el ensayo.

Tabla 34: Resultados absorción de humedad 60-40%

Familia 60-40%		1	2	3	4
<b>Condición inicial</b>	Masa inicial	16,4 g	19 g	17,5 g	16,2 g
<b>Condición final 2 horas</b>	Masa final	18,5 g	25,6 g	23,1 g	22,2 g
<b>Absorción 2 horas %</b>		12,8%	34,74%	32 %	37,04 %
<b>Condición final 24 horas</b>	Masa final	-g	-g	-g	-g
<b>Absorción 24 horas %</b>		-%	-%	-%	-%

Tabla 35: Resultados absorción de humedad 70-30%

Familia 70-30%		1	2	3	4
<b>Condición inicial</b>	Masa inicial	17,5 g	17,8 g	17,8 g	17,5 g
<b>Condición final 2 horas</b>	Masa final	25,6 g	22,8 g	25 g	24,2 g
<b>Absorción 2 horas %</b>		46,29%	28,09%	40,45 %	38,29 %
<b>Condición final 24 horas</b>	Masa final	28,2 g	26,2 g	29,2 g	29,6 g
<b>Absorción 24 horas %</b>		61,14%	47,19%	64,04%	69,14%

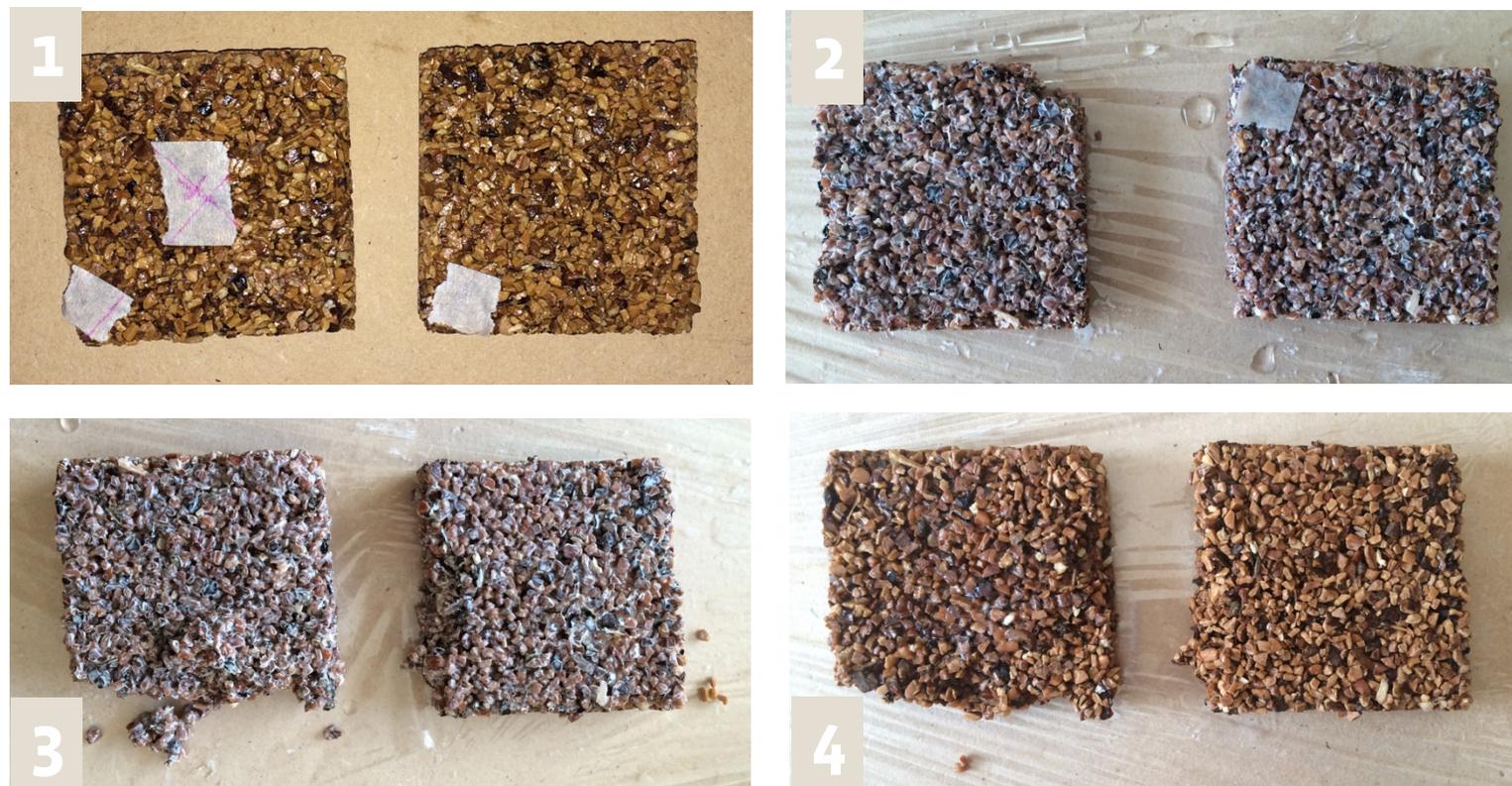


Figura 39: Probetas familia 2 (70-30%) a lo largo del tiempo en ensayo de absorción de humedad.

#### Reacción probetas familia 2 (70-30%)

Como se mencionó anteriormente al sumergir las probetas en agua, éstas comienzan a verse blancas, pues el PVAc comienza a degradarse, sin embargo una vez terminado el ensayo estas se dejan secando y luego de alrededor de 24 horas se aprecian visualmente con menos humedad, volviendo a su estado inicial, sin embargo esto no se puede asegurar pues se desconocen las características térmicas y mecánicas que presentan.

Las fotos presentadas se encuentran en orden cronológico, 1 corresponde al estado inicial previo a sumergir, 2 pertenece a las probetas luego de 2 horas sumergidas, 3 luego de 24 horas de estar sumergidas y 4 luego de 24 horas de secado.

### FASE 3: Exploración a partir de moldeado

El compuesto estudiado, como se demostró a partir de las pruebas de mecanizado, puede ser conformado a partir de arranque de viruta, sin embargo es un proceso que deja desperdicios. Por tanto, buscando una opción más sustentable, se explora en mayor profundidad un proceso sin arranque de viruta, lo que significa trabajar la mezcla a partir de moldeado.

Se busca generar diversas morfologías con el compuesto, a partir de figuras básicas (figura 41-42) hasta formas más complejas de triple curvatura.

Las primeras formas surgen a partir de la accesibilidad de los moldes, los cuales son estándar en el mercado de utensilios de

cocina (figura 40). Posteriormente se construyen moldes y contramoldes por medio de programas de modelamiento, para ser físicamente moldeados a través de CNC Router, los cuales consisten en:

**Molde 1:** El primer molde busca lograr una parábola seguida de la misma en una rotación de 180° (figura 47).

**Molde 2:** El segundo molde corresponde a una semiesfera (figura 49).

**Molde 3:** El tercer molde busca probar una triple curvatura, con el fin de identificar si se pueden lograr figuras complejas (figura 51).

#### Método procedimental para desarrollar moldes.



## Resultados

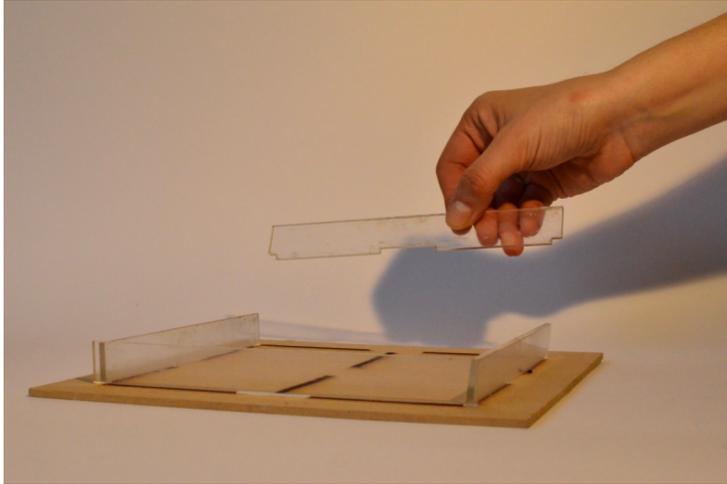


Figura 41: Molde ensamblable, MDF-acrílico



Figura 40: Moldes del área de la cocina.

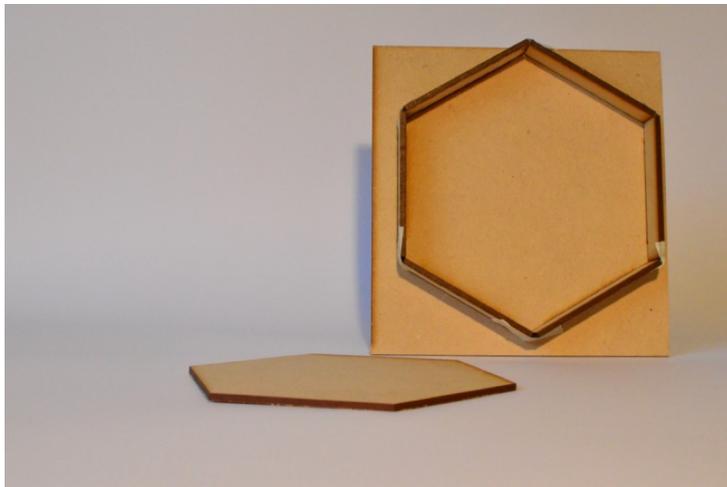


Figura 42: Molde ensamblable, MDF.



Figura 43: Prototipos obtenidos

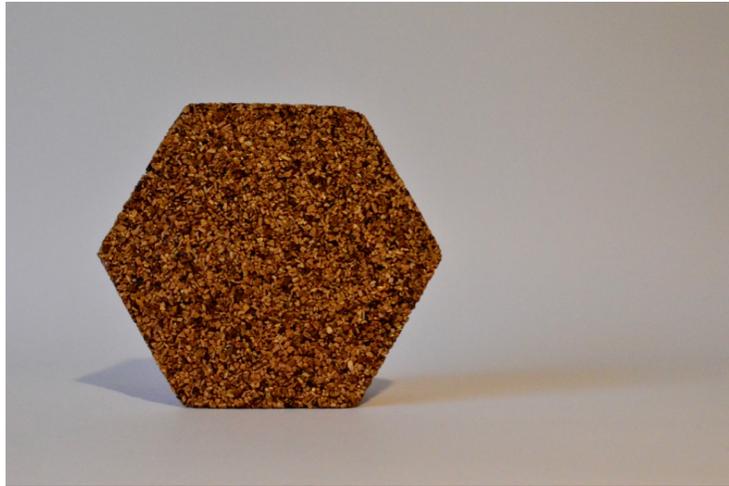


Figura 44: Hexagono a partir de molde de MDF.



Figura 45: Cilindro a partir de molde de aluminio.



Figura 46: A. Vista lateral; B. Vista superior.

## Molde 1: Doble Parábola

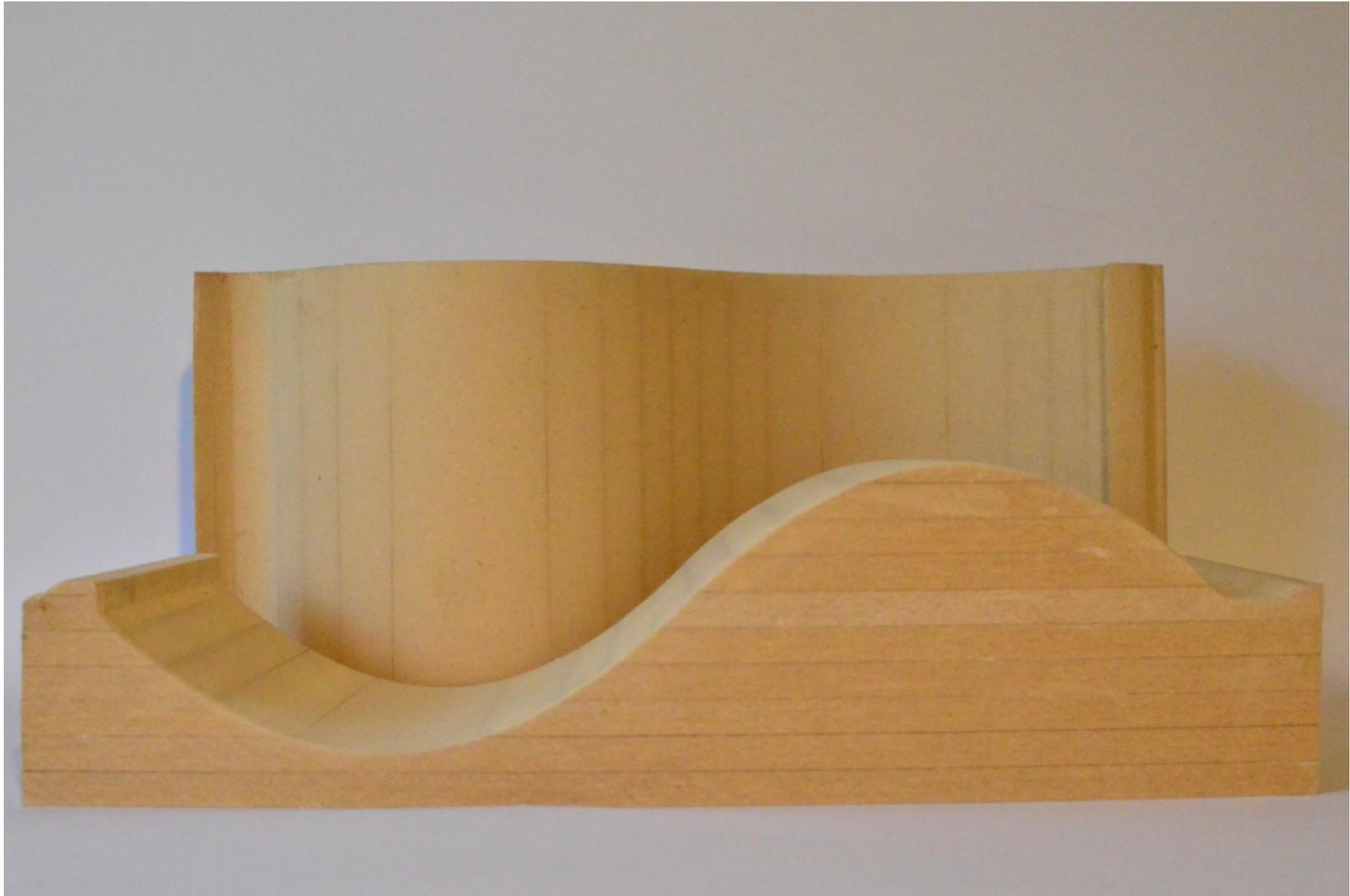


Figura 47: Molde doble parábola.

## Resultado molde 1



Figura 48: Prototipo molde 1, 1cm de espesor

## Molde 2: Semiesfera

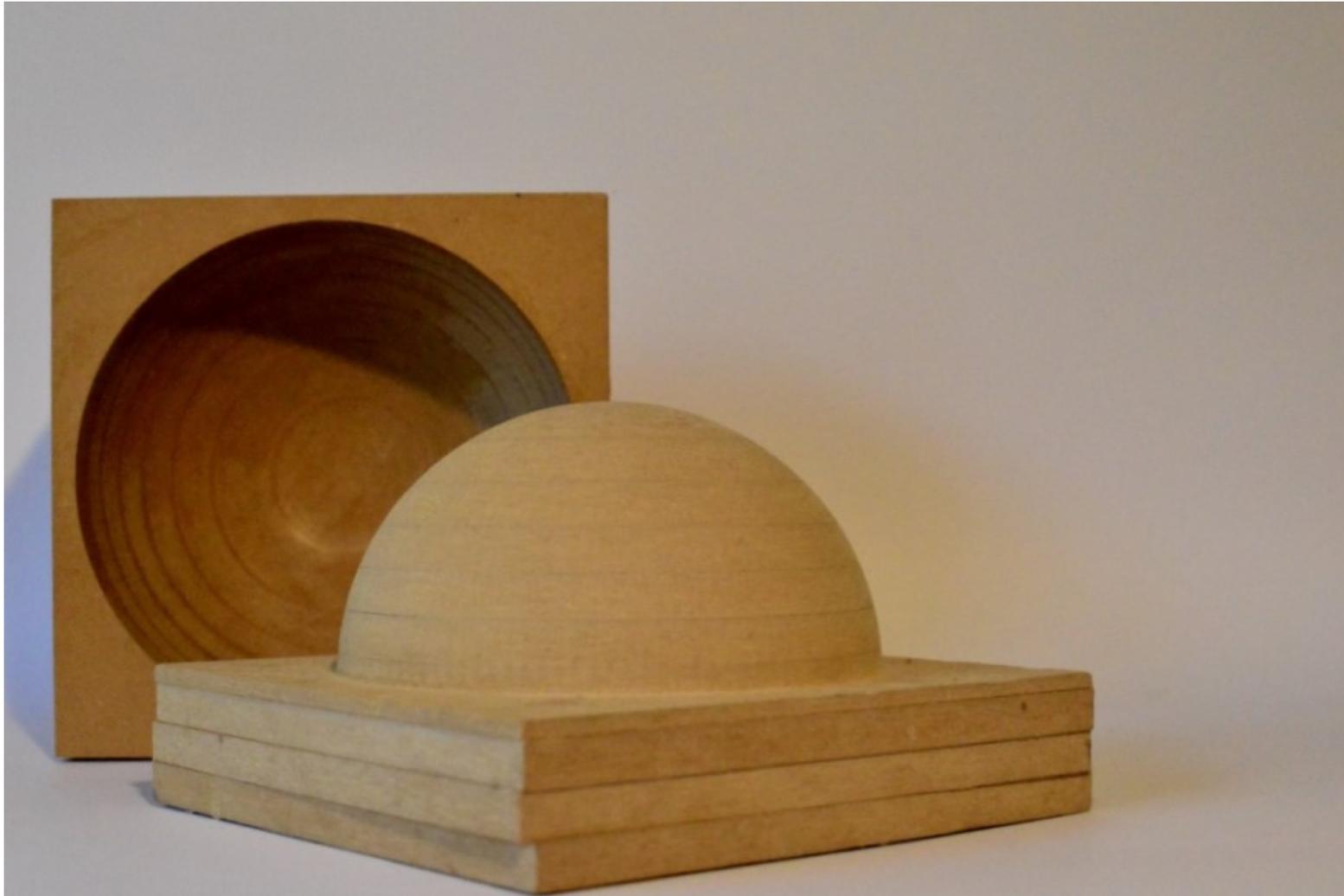


Figura 49: Molde Semiesfera

## Resultado molde 2



Figura 50: Prototipo molde 2, 1cm de espesor

### Molde 3: Triple Curvatura



Figura 51: Molde triple curvatura

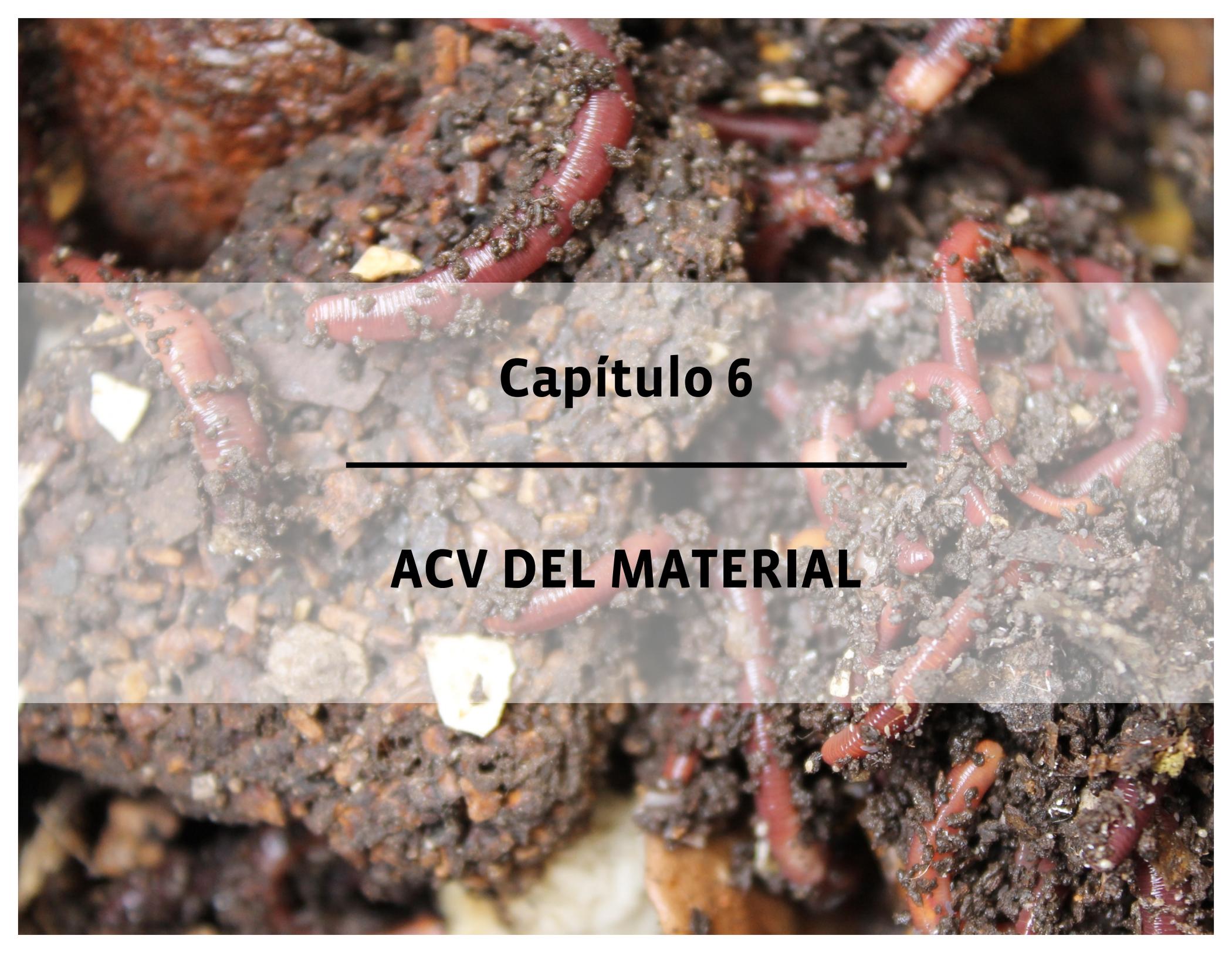
### Resultado molde 3



Figura 52: Prototipo molde 3

- Se evalúa de manera positiva la posibilidad constructiva del material compuesto a partir de moldeado, ya que en los moldes explorados que van desde morfologías simples hasta triple curvatura se consigue la forma a la que fue sometida.
- Se ha identificado que mientras mayor es el espesor se consigue una mejor conformación, acabado y resistencia. El uso de un molde machihembrado y prensado, permite una conformación compacta y bien definida, sin embargo, aún se puede mejorar pues se observan leves vacíos en algunos sectores.
- Este proceso de conformación coincide con los requerimientos del material, ya que en cuanto a costos, estos son bajos siendo más rentable a la hora de utilizarlo para grandes volúmenes; en cuanto a impactos ambientales, produce poco o nada de residuos y si los moldes son fabricados en materiales duraderos, su impacto no es significativo.





# Capítulo 6

---

## ACV DEL MATERIAL



## FASE 4: Análisis de ciclo de vida

Los productos, materiales o más bien, el entorno que construimos están dañando los ecosistemas del mundo a un ritmo verdaderamente rápido, ya sea, durante la fabricación, transporte, instalación, uso o fin de vida. Los impactos ambientales y a la salud humana, que generan los materiales que usamos día a día en nuestras vidas, generalmente no son percibidos, sin embargo estos pueden ser muy significativos (Calkins, 2009).

Estos impactos, no son sencillos de cuantificar y los materiales tampoco son fácilmente comparables, pues uno puede suponer mayor huella hídrica, otro mayor huella de carbono o puede ser más duradero, etc. Es por esto que la verdadera evaluación se puede hacer con el análisis de ciclo de vida, a través de la cuantificación de todas las entradas y salidas (Calkins, 2009), entendiendo entradas como recursos que se necesitan para un producto y salidas como emisiones, residuos o subproductos (IHOBE, 2009).

El análisis de ciclo de vida (ACV), *“es la metodología que se usa actualmente para evaluar la carga medioambiental de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida”* (Capuz & Gómez, 2004). Por tanto para realizarlo, es necesario llevar un registro de las etapas involucradas, empezando con la obtención de materia prima y hasta su eliminación al final de sus días, ya que el ciclo de consta de un conjunto de etapas que comienza desde los recursos naturales, extracción y procesamiento de sus materias primas, producción, transporte, comercialización, uso, hasta la gestión final de sus residuos como se presenta en la figura 53.

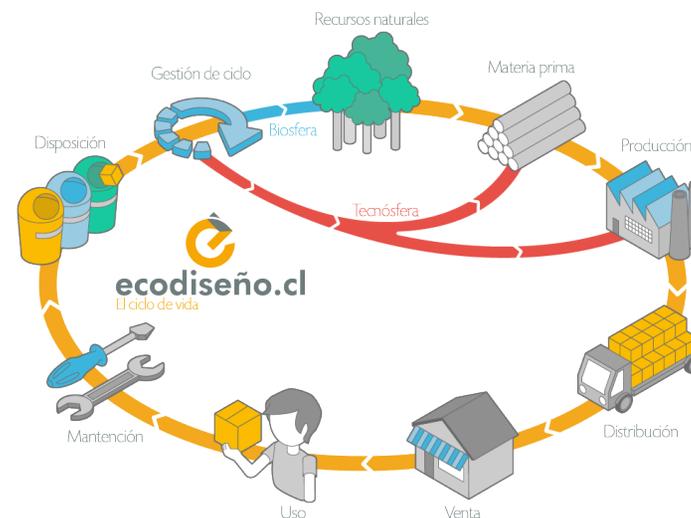


Figura 53: Diagrama ciclo de vida. Obtenido de ecodiseño.cl

Los impactos ambientales de los que se habla en un ciclo de vida, son aquellos que genera un producto o servicio y se originan con el consumo de recursos y energía al igual que en la generación de emisiones contaminantes que traen consecuencias como agotamiento de recursos naturales, problemas en la salud humana y la mala calidad ambiental, en el entorno humano y natural. Por tanto se trata de entradas de materia y energía y salidas de residuos y emisiones que son las que llevan a productos o servicios con impactos ambientales globales (*"Guía de introducción práctica al Ecodiseño,"* 2009).

Con los años el ACV ha pasado a ser una herramienta universal y con el fin de uniformar criterios se han creado normas internacionales como la ISO 14040, titulada en español *"Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)"* la cual describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (AENOR,

2006), propone una metodología para ACV, con pasos a seguir que corresponden a definición de objetivo y alcance, seguido de un inventario de ciclo de vida y su análisis, para llegar a una evaluación de impacto, finalizando con una interpretación de los resultados; pasos que generan un modelo que funciona de manera iterativa (figura 54).

En Chile, se encuentra registrada y vigente la norma NCh-ISO14040-2012, "Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y estructura", la cual corresponde a una adopción idéntica por traducción de la norma mencionada anteriormente (ISO 14040:2006).

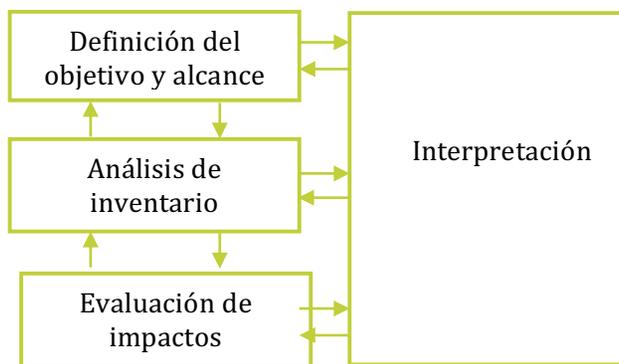


Figura 54: Norma ISO 14040, Etapas de un ACV. Adaptado de (AENOR, 2006)

## 6.1 Pasos para un Análisis de ciclo de vida

**Definición de objetivo y alcance:** Es la etapa en la que se definen objetivos y alcances del análisis, lo cual involucra definir la unidad funcional (Uf) a estudiar, en la cual se declara características y función de lo que se evaluará, aspecto fundamental pues en base a esto se consideran las entradas y salidas de cada fase. Corresponde en esta etapa también dejar

claro los alcances o frontera del estudio para luego continuar con el inventario de entradas y salidas (AENOR, 2006).

**Análisis de inventario:** El inventario, es la forma en la que se recopilan flujos de entradas/salidas de todas las etapas. Las entradas más comunes a considerar son materias primas, energía y agua (AENOR, 2006). Según las entradas y salidas consideradas un ACV se denomina “*de la cuna a la tumba*” cuando considera todos los procesos que participan a lo largo del ciclo de vida; “*de la cuna a la puerta*” si el alcance se limita a las que se encuentran desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado o “*de la puerta a la puerta*” en caso de incluir solo entradas y salidas del sistema productivo (IHOBE, 2009).

**Evaluación de impactos:** Posterior a la identificación de entradas y salidas, los resultados del inventario se clasifican, caracterizan y valorizan. Los impactos ambientales son cuantificados y los valores obtenidos para cada categoría de impacto, se suman de forma ponderada (Capuz & Gómez, 2004). En esta fase se recurre a bases de datos, donde se encuentran los valores de los indicadores y este análisis se puede realizar de manera manual o a través de softwares. Un indicador es una cifra que expresa la carga ambiental total de un proceso o producto, mientras más alto el número, mayor es el impacto (Canale, 2015).

**Interpretación:** Finalmente según el objetivo y alcance planteados inicialmente son interpretados los resultados, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

## 6.2 Aplicación del ACV en el compuesto

Siguiendo la metodología mencionada anteriormente, se realiza el análisis de ciclo de vida del compuesto de cáscara de nuez con PVAc. Para llevarlo a cabo, se identifica el ciclo completo y sus componentes, comenzando desde el Nogal:

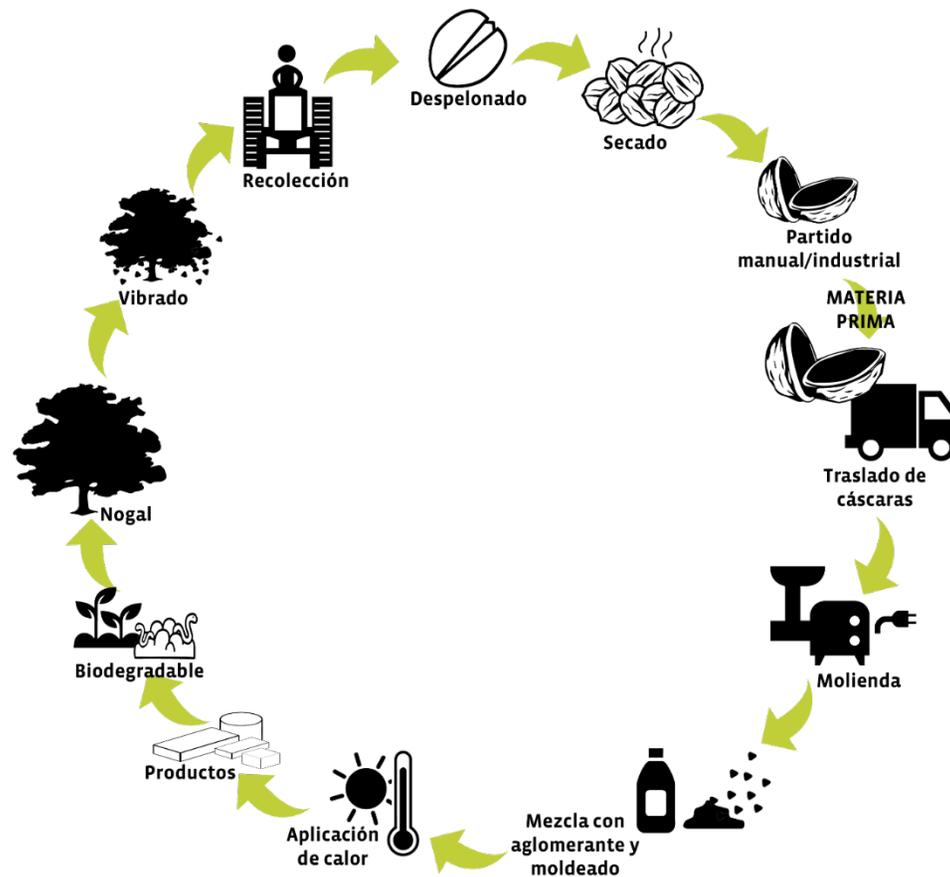


Figura 55: Diagrama ciclo de vida. Elaboración propia.

## 1. Definición de objetivo y alcance

**Unidad Funcional (UF):** Modulo de aglomerado rectangular de cáscara de nuez con PVAc de 150x70x5mm, compuesto por cáscaras de 4 nueces.



**Objetivo:** Analizar el proceso de conformado del material para identificar la huella de carbono y ambiental y detectar en qué etapa se generan mayores impactos y en un futuro modificarlo para hacerlo más sostenible.

**Frontera:** El análisis contempla solo las etapas abordadas por la experimentación (ver figura 56)

Es decir, se deja fuera el cultivo por su gran envergadura, y todo lo que viene luego de conformar una probeta ya sea uso, packaging, traslado al punto de venta, entre otros, por tanto se trata de un ACV de la puerta a la puerta.

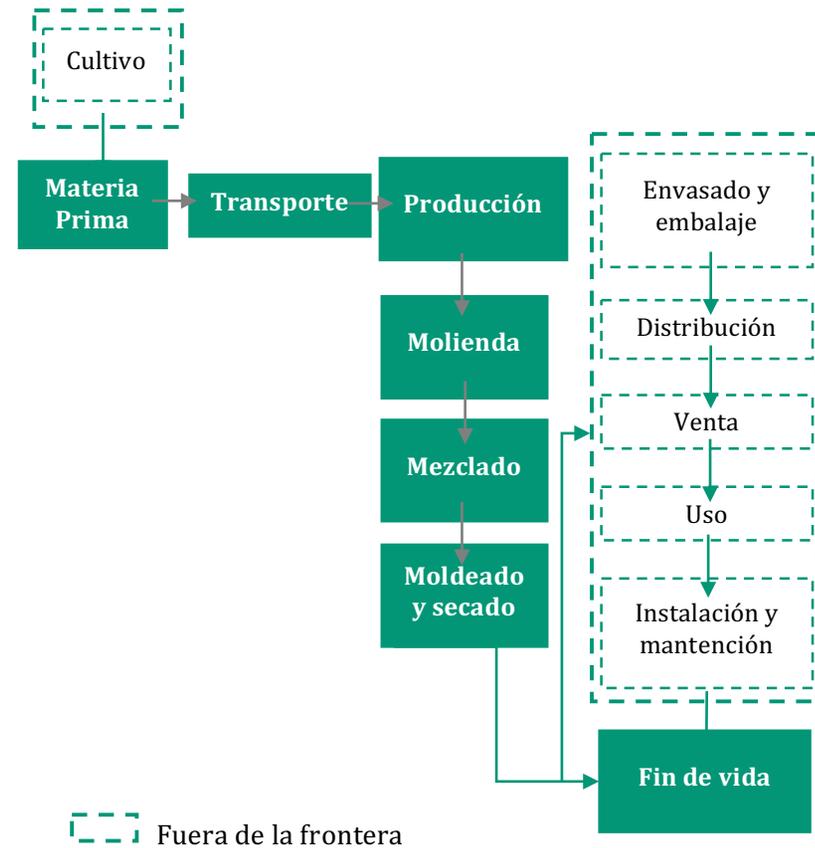


Figura 56: Etapas del Ciclo de vida. Elaboración propia.

## 2. Análisis de inventario

Posteriormente se realiza la recopilación y análisis de las entradas y salidas, configurando un inventario en Excel. En este caso se ordenan los datos en dos modelos distintos, uno según las etapas del ciclo de vida y el otro según se procede en la producción.

Tabla 36: Inventario ACV según etapas ciclo de vida.

Etapas ciclo de vida	Subproceso	Entradas-Salidas	Cantidad	Unidad
Materia Prima	Cáscara	Materia prima	0.024	kg
	Aglutinante (PVAc)	Materia prima	0.016	kg
Producción	Molienda con equipo Type 900	Energía eléctrica	0.03136	kwh
	Mezcla de cáscara con aglutinante			
	Vertido al molde	Despreciable		
	Secado	Energía eléctrica	1	kwh
Distribución	Transporte cáscara	Petróleo	0.001032	TKM
	Transporte PVAc	Petróleo	0.000336	TKM
Disposición		Materia orgánica	0.032	kg

Tabla 37: Inventario ACV según etapas de producción

Etapas de producción	Subprocesos	Entradas-Salidas	Cantidad	Unidad
Molienda	Cáscara		0.024	kg
	Transporte cáscara	Petróleo	0.001032	TKM
	Molienda con equipo Type 900	Energía eléctrica	0.03136	kwh
Mezclado y moldeado	Aglutinante (PVAc)		0.016	kg
	Transporte PVAc	Petróleo	0.000336	TKM
	Vertido al molde	Despreciable		
Aplicación de calor	Secado	Energía eléctrica	1	kwh

### 3. Evaluación de impactos

Se realiza un análisis de manera manual en Excel, con la base de datos facilitada por Ecodiseño.cl para obtener los ecoindicadores y además un análisis de la huella de carbono en el software Umberto, en su versión Umberto NXT CO2, una herramienta para la determinación rápida y fácil del impacto climático producido y con la base de datos Ecoinvent 2.2.

Por tanto se contemplan las categorías de impacto ambiental: calentamiento global, y la huella ambiental (Recipe), la cual incluye daño ecológico, daño a la salud humana, agotamiento de recursos.

Respecto del indicador del PVAc (Acetato de Polivinilo), este no se encuentra disponible en las bases de datos consultadas, por lo cual es reemplazado por el indicador del Acetato de Vinilo, compuesto base del PVAc.

Es necesario consignar que los indicadores de la electricidad son distintos entre ambos Softwares, ya que Ecoinvent 2.2 no posee indicador para electricidad Chilena.

### 4. Interpretación

Los datos obtenidos corresponden a:

**Huella de Carbono:** 0,07 Kg CO2 eq (Umberto)  
0,69 Kg CO2 eq (Excel)

**Huella Ambiental:** 0,007

Los datos de cada etapa y de cada huella calculada en específico se encuentran detallados con sus respectivos gráficos en figura 57 y 58 y en anexo 8 “Interpretación ACV; Huella de carbono y Huella Ambiental”.

Los datos obtenidos de Excel y Umberto, no son comparables, ya que las bases de datos no son las mismas, sin embargo ocurre que los resultados son bastante parecidos.

En cuanto a las cifras obtenidas, es importante identificar que para la huella de carbono, en Excel y Umberto la etapa de mayor impacto es la de secado, luego según etapas de proceso; la producción es la fase que presenta valores más altos y dentro de esta la energía de secado por sobre la energía de molienda.

Por su parte la huella ambiental según etapas de ciclo de vida presenta mayor impacto en la materia prima y al evaluar según etapas de procesamiento el mezclado y moldeado.

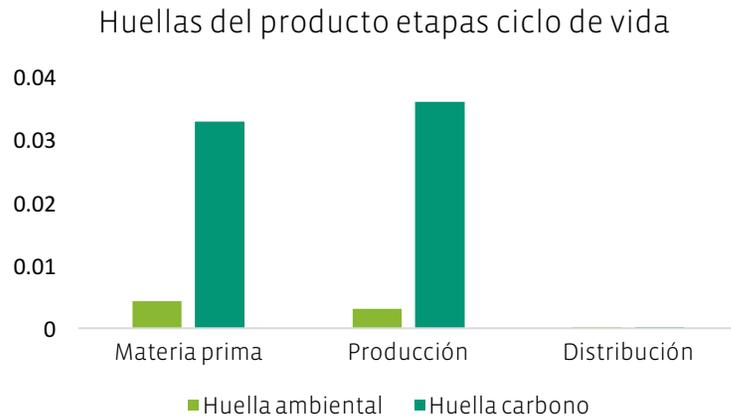


Figura 57: Gráfico huella del producto en etapas del ciclo de vida. Elaboración propia.

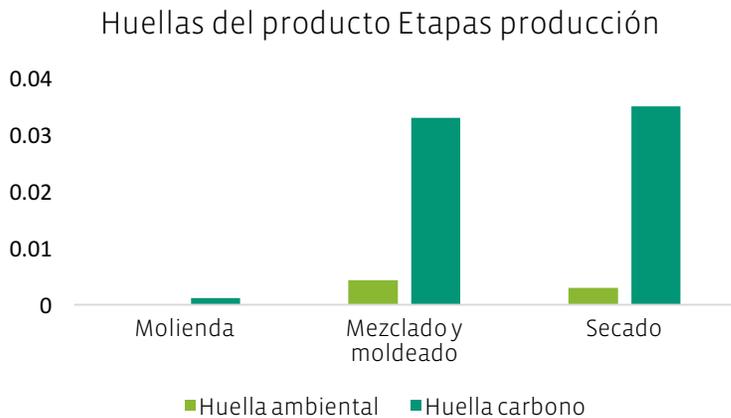


Figura 58: Gráfico huella del producto en etapas de producción. Elaboración propia.

- Realizar el Acv de manera temprana, entrega la posibilidad de detectar en la etapa de diseño y desarrollo aquello que genera mayores impactos y de esta manera hacerlo más eficiente y sostenible. El análisis realizado en esta investigación se trata de un primer acercamiento que entrega datos para utilizar en la etapa de diseño del material, pues se trata de un proceso iterativo y debe ser completado una vez que se hayan definido las fases que hoy se encuentran fuera de la frontera.

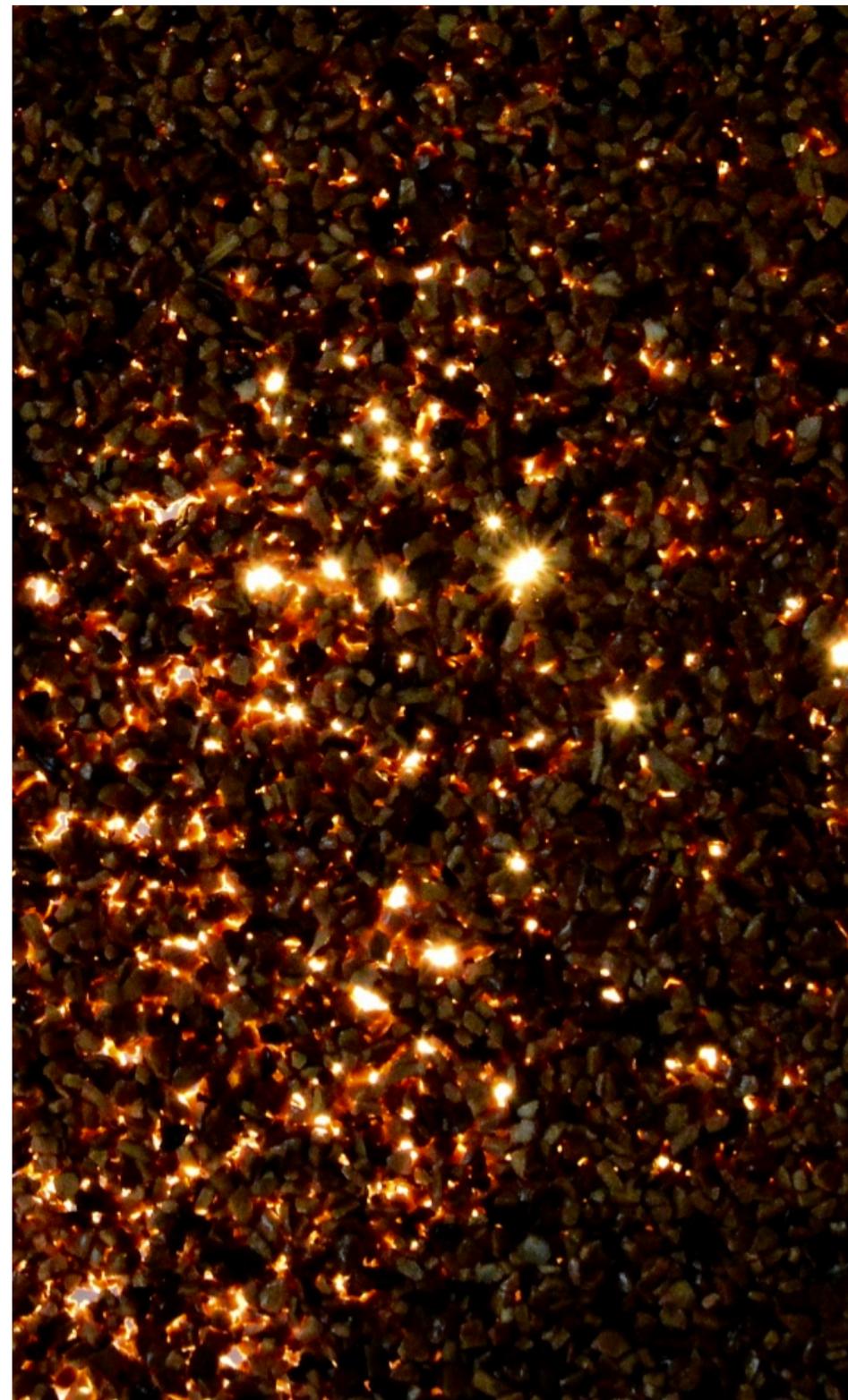
## CONCLUSIONES

La investigación presentada permitió establecer el proceso de elaboración de un material compuesto que se constituye principalmente a partir de la cáscara de nuez, un residuo de la agroindustria chilena.

Para efecto de la experimentación, se desarrollan probetas con distintas proporciones de cáscara y aglomerante, luego según los criterios de selección de estas, se realizan pruebas para caracterizar el material con probetas de estudio en proporciones 60% cáscara/40% aglomerante y 70% cáscara/30% aglomerante. Sin embargo los resultados obtenidos indican que las muestras en sus dos distintas proporciones no presentan diferencias significativas, excepto en el ensayo térmico.

Se lograron determinar las características principales del material compuesto, que permiten conocer su comportamiento. Resulta ser un material isotrópico y liviano que estéticamente presenta brillo. Respecto del mecanizado, este se puede trabajar con diversas herramientas comunes en la industria, con las cuales se le pueden realizar cortes, perforado, torneado, existiendo diferencias al trabajar con los espesores 5 mm y 10 mm funcionando de mejor manera a mayor espesor. Sin embargo, cuando presentan 5 mm de espesor permiten el paso de la luz, lo cual podría ser aprovechado a la hora de darle aplicación (figura 59).

Mecánicamente es frágil, presentando características que lo asemejan principalmente a maderas de baja densidad y espumas. En cuanto a su comportamiento al fuego, no se incendia, tiende a la auto extinción y se acerca a un comportamiento no inflamable. En cuanto a su comportamiento térmico, presenta una baja conductividad lo que implica que es un buen aislante térmico, similar a una plancha de corcho y mejor aislante que diversas maderas, adobe, yeso cartón, entre otros. Sin embargo el material compuesto en base a cáscara de nuez y PVAc utiliza materiales



locales, de bajo costo, no es tóxico, necesita bajo nivel de energía y agua para su procesamiento y es biodegradable.

Otra manera de conformar el material es a partir de moldeado, logrando formas complejas, una opción más sostenible pues no se generan desperdicios.

Respecto de la absorción de humedad del material, dado que el aglomerante utilizado es hidrosoluble, presenta baja resistencia a la humedad lo cual limita las posibles aplicaciones, pero luego de su uso facilita su fin de vida.

Finalmente, se ha verificado que el material puede permanecer varios meses en un espacio interior sin sufrir modificaciones, sin embargo al estar en el exterior hay factores que facilitan su degradación, lo cual se comprueba en un período de cuatro meses, de dos maneras. Una a través del vermicompostaje con lombrices y la otra insertando las probetas a un macetero con tierra húmeda y expuesta a los cambios climáticos. En ambos casos las probetas como se puede ver en las figuras 60 y 61, comienzan un proceso de biodegradación, por tanto se puede deducir que es un material que en su fin de vida no genera residuos y es respetuoso con el medio ambiente.

Todas las propiedades mencionadas le otorgan ventajas claves para innovar y dar aplicaciones, abriendo un amplio camino para reemplazar materiales existentes y desarrollar nuevos productos que cumplan con un ciclo de vida circular.



Figura 59: Paso de luz en probeta de 5 mm espesor.



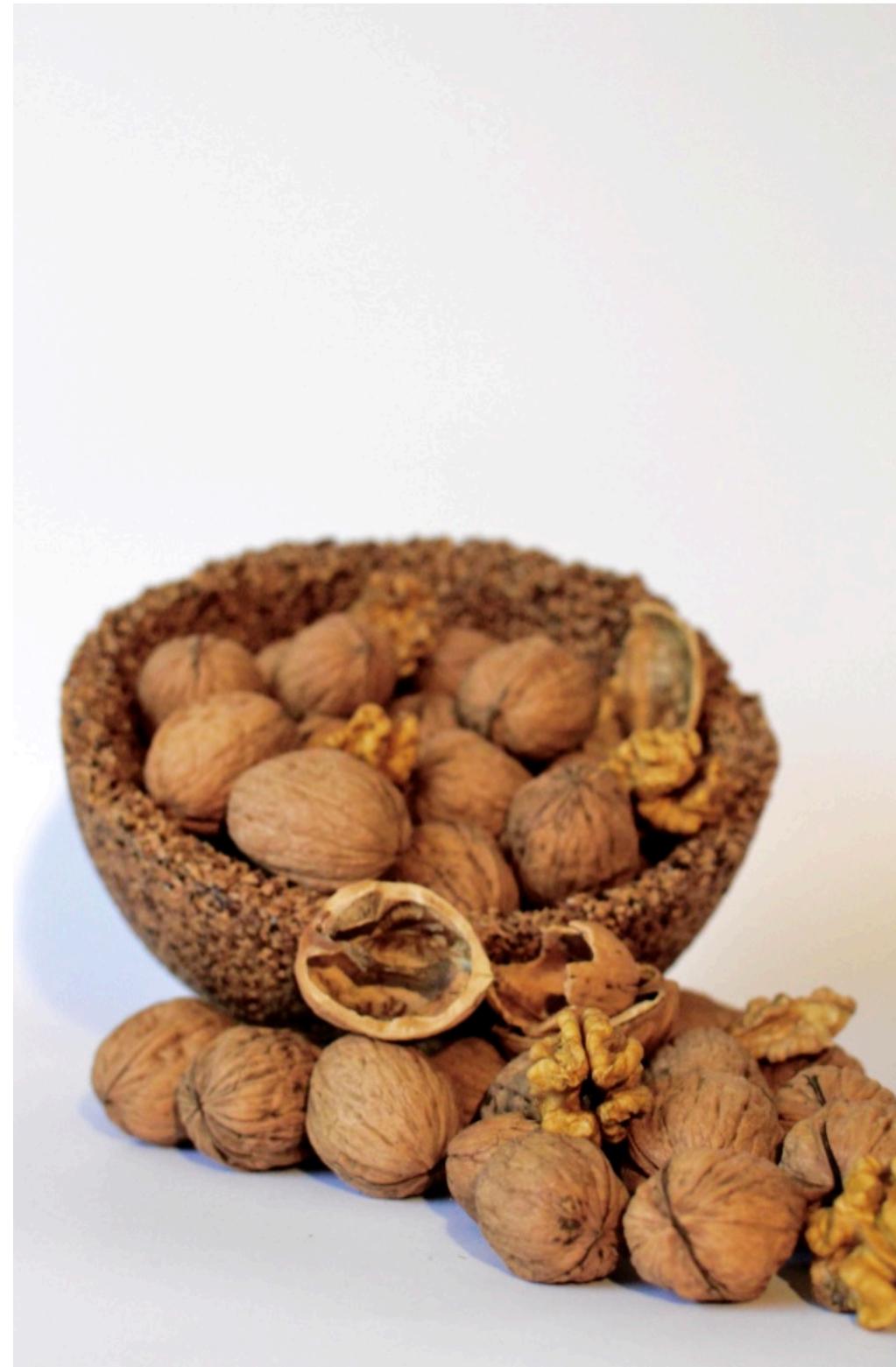
Figura 61: Proceso de degradación natural a partir de vermicompostaje



Figura 60: Proceso de degradación natural con humedad en la tierra

## PROYECCIONES

- Dado que las proporciones estudiadas no presentan diferencias significativas, se sugiere probar con otras proporciones que se encuentren en el rango 60% -80% de cáscara.
- Luego de identificar que la cáscara de nuez es una materia prima posible de utilizar en un material compuesto, queda abierta la posibilidad de seguir experimentando con aglomerantes que mejoren las propiedades logradas.
- El estudio deja abiertas las posibilidades para seguir caracterizando el material, entre ellas la aplicación de recubrimientos o tintes que no alteren sus características, pero permitan múltiples posibilidades de uso.
- Para definir más claramente los usos y usuarios, se sugiere realizar un análisis perceptual.
- Dado que funciona a partir de moldeado, el siguiente paso es comprobar que se puede desarrollar industrialmente a partir de moldeo por compresión.
- En cuanto al análisis de ciclo de vida, una vez definidas las etapas que hoy se encuentran fuera de la frontera, este debe ser finalizado para conocer su verdadero impacto ambiental. Sin embargo es importante considerar los resultados obtenidos en lo ya analizado y mejorar aquello que hoy genera mayores impactos.
- A partir de las características ya identificadas en esta investigación, queda abierta la posibilidad para abrir nuevos mercados, dar múltiples aplicaciones y diseño de productos que cumplan con un ciclo de vida circular.





## LISTA DE REFERENCIAS

- AENOR. (1993). UNE-EN 317:1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua.
- AENOR. (2006). UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).
- AgarGel. (s.f.). Agar-Agar. 2016, from <http://www.agargel.com.br/agar-tec-es.html>
- Ahmedna, M., Marshall, W. E., Husseiny, A. A., Rao, R. M., & Goktepe, I. (2003). The use of nutshell carbons in drinking water filters for removal of trace metals.
- Andrés Rodríguez, p. d. C. W. C. (2015). Industria de nueces chilena ingresa con mayor fuerza a partido mecanizado.
- ASTM. (2004). D1666-87, Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials.
- AutoridadesAviaciónCivil. (1994). Joint Aviation Requirements: JAR-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Category Aeroplanes (pp. 454).
- Baillie, C., & Peijs. (2003). *Interfacing with composites, del libro: Navigating the materials world.*
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería.*, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Beylerian, G., Quinn, B., & Dent, A. (2008). *Ultramateriales: formas en que la innovación en los materiales cambia el mundo.*
- BioplasticsMagazine. (2013). Glosario 3.2. *Bioplastics Magazine*, 8.
- Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites; A complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials.* New Jersey.
- Calvo-Flores, F., & Isac, J. (2013). Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato.
- Canale, G. (2015). *Materialoteca: perfil ambiental de materiales.*
- Capellini, M. (s.f). Il food waste come risorsa per lo sviluppo di materiali e prodotti per l'architettura e il design.
- Capellini, M., Farías, J., & Domeniconi, F. (2015). *Made food waste, 50 products made in food waste.*
- Capuz, S., & Gómez, T. (2004). *Ecodiseño, ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles.*
- Carus, M. (2015). Paso a paso. *Revista Chilenu N°2, Noviembre 2015-Marzo2016.*
- Cervantes, G. (2013). El concepto de ecología industrial *La ecología industrial en México* (1era ed., pp. 333). México DF: UAM-X.
- Chile, Oportunidades en la agroindustria. (2010).
- ChileanWalnutCommission. (2012). Manual de gestión de calidad, *Normas técnicas de calidad de nueces.*
- Chilenu. (2008). El despegue de Chile en frutos secos y deshidratados.
- Condés, M. C. (2012). *Películas compuestas y nanocompuestas, biodegradables y/o comestibles, en base a proteínas de amaranto y almidones de distinto origen botánico.* Universidad Nacional de La Plata.
- Dominguez, V., Zegbe, J., Alvarado, M., & Mena, J. (2011). Extracción y purificación del mucílago de Nopal. México.
- Díaz, L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. España.
- Düzkale Sözbir, G., Bektaş, İ., & Zülkadir, A. (2015). Lignocellulosic Wastes Used for the Cultivation of *Pleurotus ostreatus* Mushrooms: Effects on Productivity. Turquía.
- EditorsEncyclopediaBritannica. (Ed.) (2016) Enciclopedia Britannica.
- EIEconomistaAmérica. (2015). La industria de nueces chilena vive su mejor momento. Retrieved from <http://www.economistaamerica.cl/reportajes-en-eAm-chl/noticias/6664128/04/15/La-industria-de-nueces-chilena-vive-su-mejor-momento.html>
- Erazo, R. (2007). *Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción.*

- Errecart, V. B. (2012). *Diagnóstico de la Cadena de la Nuez de Nogal de las Provincias de La Rioja y Catamarca. Estrategias y Tácticas para Mejorar su Inserción en el Comercio Internacional*.
- Ferraro, G. M. (2009). Revisión de la Aloe Vera (*Barbadensis Miller*) en la dermatología actual.
- FIA. (2010a). Manual Producción de nueces de nogal. Dirigido a profesionales y técnicos del área agropecuaria.
- Figueroa, F. (2012a). *Composición fenólica, lipídica, actividad antioxidante y biodisponibilidad in vitro de 10 genotipos de nueces cultivados en la Región de Murcia*. Universidad católica san antonio.
- Flores-Velásquez, R., Rangel-Piñón, J. V., Quintanar, - O., J., Fuentes-López, M. E., & Vasquez-Silva, L. (2007). Calidad del maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*
- Frihart, C. R. (2005). Wood Adhesion and Adhesives *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* (pp. 703).
- Fundación para la Innovación Agraria, m. d. a. (2007). Resultados y Lecciones en Manejo de Nogales.
- García, H., Barajas, D., & Alarcón, L. (2014). Experimentación de materiales, un camino para la sustentabilidad en el diseño.
- GlobalFootprintNetwork. (S.f). Huella Mundial. Retrieved 9-09-2016, 2016, from [http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world_footprint/)
- González López, A. (2002). *La preocupación por la calidad del medio ambiente. Un modelo cognitivo sobre la conducta ecológica*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Guía de introducción práctica al Ecodiseño. (2009). Valencia.
- IDEACONSULTORA. (2012). Actualización del catastro de la agroindustria hortofrutícola Chilena.
- IHOBE. (2009). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono, *Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*.
- IHOBE. (s.f.). Conocimiento técnico. from <http://www.ihobe.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=7eb832ac-0b4e-4309-9193-f231e30058c0&Idioma=es-ES>
- Illana, C. (2014). Hifas de hongos como material de empaquetado y de construcción. Madrid.
- INE. (2007). Censo agropecuario. Instituto Nacional de Normalización. (1991). NCh 853.Of91, "Acondicionamiento térmico-Envolvente térmica de edificios-Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas".
- iQonsulting. (2016). "Agregación de valor de frutos secos, nueces y almendras".
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2014). *Materials experience; fundamentals of materials and design*.
- Kita, Y., Daneels, A., & Romo de Vivar, A. (2013). Estudio químico para la identificación del aglutinante en muestras arquitectónicas prehispánicas.
- L.H., W., & W.E., M. (2000). Citric acid modified agricultural by-products as copper ion adsorbents.
- Lemus, G. (2001). *El nogal en Chile*.
- Lemus, G. (2008). NOGALES: Preparación para la cosecha. In I. p. Inia (Ed.). Los innovadores que prometen revolucionar la producción. (2016). *Revista del campo, El mercurio*.
- Lyle, S. (Ed.) (2011). Magazine, B. (2013). Glosario 3.2. *Bioplastics Magazine*, 8.
- Marlenin, R. (2011). *Utilización de la cáscara de nuez chandler en el yeso*.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillen, F., Castillo, S., Valero, D., et al. (2005). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2005). *Cradle to Cradle, rediseñando la forma en que hacemos las cosas*.
- Mendez, F., & Silva, G. (2009). Nuevas Posibilidades para la industria de la subercultura, Obtención de corcho por medio de su reciclaje.
- Meré, J. (2009). *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente.*, Universidad Carlos III de Madrid.

- Millar, J. (2016). Entrevista representante Chilenut. In D. Parodi (Ed.). MinisterioDelMedioAmbiente. (2015). Segunda Encuesta Nacional de Medio Ambiente (pp. 156).
- MMA. (s.f). Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Ley N°20.920.
- Moya, R., Leandro, L., Córdoba, R., Serrano, R., & Monge, F. (2004 ). Aspectos importantes sobre la trabajabilidad de la madera de Melina. *Kurú: Revista Forestal*.
- NacionesUnidas. (1972). Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. Estocolmo.
- NativaDoBrasil. (s.f). Exfoliante corporal de nuez de Brasil y cáscara de nuez. Retrieved 12-08-2016, 2016, from <http://www.nativadobrasil.net/es/from-body-scrub-brazil-nut-and-nut-bark-in-500ml.html>
- Nijenhuis, T., & Krevelen, V. (2009). *Properties of Polymers, 4th Edition; Their Correlation with Chemical Structure; their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions*. Elsevier, versión online.
- Novo, M. (2006). *El desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*.
- ODEPA, & CIREN. (2014). Catastro frutícola.
- PlásticoVegetal. (s.f). Plástico vegetal, elaboran envases y otros productos de uso agrícola a base de maíz, mandioca y fibras. Retrieved 18-08-2016, 2016, from <http://plasticovegetal.cl/plastico-vegetal-elaboran-envases-y-otros-productos-de-uso-agricola-a-base-de-maiz-mandioca-y-fibras/>
- Prinsen, P. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- ProChile. (2016). Frutos secos. from <http://www.prochile.gob.cl/int/bolivia/productive-sectors/frutos-secos/>
- Puentes, E. (2016). Informe frutales de nuez chilenos; información aduanera actualizada a Diciembre de 2015.
- Quiroz, I. (2015). En ascenso. *Revista Chilenut*.
- Rey, C. (2007). Papeles al engrudo.
- Rodríguez, R., Ramírez, A., Palacios, H., Fuentes, F., Silva, J., & Saucedo, A. (2015). Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. Optimización de la extracción del mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Romero, O., López, R., Damián, M., Hernández, I., Parraguirre, J., & Huerta, M. (2012). Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Juglans regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero.
- RustBrothersLLC. (s.f.). Nuxite.
- Sellao, D., & Castillo, C. (2015). *Diseño y montaje de un dispositivo experimental para el estudio de materiales constructivos ante una carga térmica convectiva*.
- SocAgricolaComercialNuecesdelChoapa. (2013). Utilización de residuos de proceso de producción de nueces para la elaboración de bioenergía. Retrieved 12-08-2016, 2016, from <http://repositoriodigital.corfo.cl/handle/11373/10152>
- Sofofa. (2015). Exportación de nueces sube 60,8% en cinco años. from <http://web.sofofa.cl/noticia/exportacion-de-nueces-sube-608-en-cinco-anos/>
- Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas: Materiales compuestos. Argentina.
- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal.
- ThePlasticsIndustryTradeAssociation. (s.f). Definitions of Resins - Polyvinyl Acetate (PVAc) & Other Vinyls. Retrieved 18-08-2016, 2016, from <http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=1408&>
- Torres, P. (2010). *Estudio de pre factibilidad técnico-económica de una planta de molienda de cáscara de nuez*. Universidad de Santiago de Chile.
- Trujillo, A., & Arias, L. (2013). El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes.

Urrutia, I. (2013). El negocio de la nuez: lo que fue, lo que no, lo que viene, *Análisis económico*.

Valenzuela, V. (2006). Optimización de la obtención de harina y nuez (*Juglans regia*) de la variedad semilla californiana, Chandler y Serr, y estudio de su estabilidad química en el tiempo.

Viswanathan, B., Indra Neel, P., & Varadarajan, T. (2009). *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials* (pp. 160): National Centre for Catalysis Research.

Viveros Muñoz, E. (2007). *Efecto del Desgaste del Cuchillo en la Calidad de la*

*Unión Adhesiva*. Universidad del Bio Bio, Concepción.

Vásquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas.

Wypych, G. (2016a). *Handbook of polymers* (2da ed.).

ZeaPlast. (s.f.). Glosario de Términos. Retrieved 20-08-2016, 2016, from <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/glosario-de-terminos+-10>

## ANEXOS

### Anexo 1: Cantidad de toneladas exportadas en 2015.

País	Toneladas sin cáscara	Toneladas con cáscara
Alemania	2837,7	394,6
Austria	322,9	0,0
Brasil	2.614,5	919,6
Corea del sur	951,2	20,0
Ecuador	464,3	54,3
Emiratos árabes unidos	402,1	1.589,6
España	1.211,2	1.023,6
Francia	774,7	31,0
Holanda	2.285,0	25,9
Hong Kong	72,1	422,0
Italia	2.097,4	4.069,5
Japón	294,2	0,0
Rusia	438,6	17,2
Suiza	804,6	0,0
Turquía	374,5	22.074,6

Fuente: Elaboración propia, basada en Odepa &(Puentes, 2016)

Anexo 2: Observación en terreno del nogal y su fruto en desarrollo



Fotografías propias, (Coinco, 6ta región)



### Anexo 3: Visita a productor de nueces

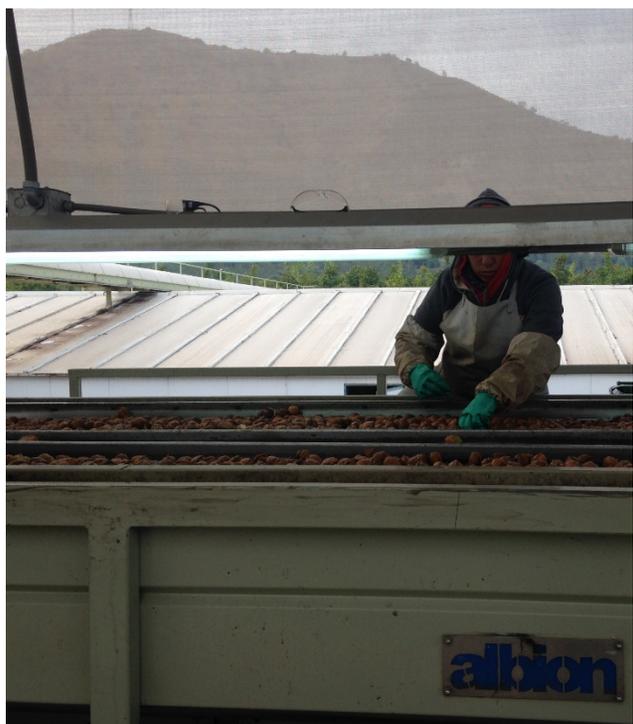
Rinconada Walnuts

Ubicación: Calera de tango, Santiago

Variedad: Chandler y Seer

Producción: 14.000 toneladas con cáscara.

Procesos que ejecutan: cosecha, limpieza, secado, despelonado



Fotografías del proceso de producción: Selección, secado y paso a homogeneizadores de humedad.

## Anexo 4: Normas Biodegradabilidad - Compostabilidad

<p><b>D6400</b></p>	<p>"Especificación Estándar para Plásticos Compostables" La norma contiene su especificación en plásticos compostables, por lo tanto se establecen requisitos para que productos fabricados con plástico sean compostados en instalaciones de compostaje aeróbico municipales o industriales, ya que el objetivo se centra en que los materiales se desintegren y se biodegraden satisfactoriamente. Como requisito, se establece el 60% de biodegradación dentro de 180 días, por lo tanto cumple todo el material cuyo contenido orgánico se transforma en humus, agua, CO2 y Biomasa en este tiempo.</p>	<p>de plástico, que pueden recuperarse a través del compostaje aeróbico. Para esto hay aspectos importantes como biodegradación, desintegración durante el compostaje, efectos negativos sobre el proceso de compostaje y las instalaciones, efectos negativos sobre la calidad del compost resultante y considerando la presencia de altos niveles de metales regulados y otros componentes dañinos.</p>
<p><b>EN 13432</b></p>	<p>Norma que define el plástico biodegradable como aquel que posee un proceso de biodegradación igual o superior a 90% en menos de seis meses.</p>	<p><b>prNCh-ISO 14855-1</b> <b>UNE-EN ISO 14855-1:2013</b></p> <p>Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas - Método mediante el análisis del dióxido de carbono Este método está diseñado para simular las condiciones típicas de compostaje aeróbico para los residuos municipales orgánicos. El ensayo de compostaje se lleva a cabo en un entorno en el que la temperatura, la aireación y la humedad están controlados donde se mide la cantidad de dióxido de carbono generado y el grado de degradación del plástico.</p>
<p><b>EN 14995</b></p>	<p>Norma europea que especifica los requisitos para determinar la compostabilidad o tratabilidad anaeróbica de los materiales plásticos señalando características a cumplir, las cuales son biodegradabilidad, desintegración durante el tratamiento biológico, efecto sobre el proceso de tratamiento biológico y efecto sobre la calidad de compost obtenido. La norma es similar a la EN 13432, la diferencia es que EN 14995 incluye materiales plásticos que no son embalaje, como plásticos utilizados en la agricultura o bolsas para la recogida de residuos.</p>	<p><b>EN ISO 14851:2005</b></p> <p>Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en medio acuoso. Método según la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado.</p>
<p><b>ISO 17088</b></p>	<p>"Specifications for compostable plastics" La norma señala procedimientos y requisitos para identificar y etiquetar plásticos y productos hechos</p>	<p><b>ASTM D 5988-03</b></p> <p>"Método normalizado de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica en suelo de materiales plásticos o materiales plásticos residuales luego del compostado". Consiste en exponer el material plástico o el residuo compostado conteniendo material plástico, al suelo, y determinar la cantidad de dióxido de carbono liberado por los microorganismos en función del tiempo. Este método de ensayo ASTM es equivalente a la norma ISO 17556.</p>

## Anexo 5: Productores de nueces

Nombre	Contacto	Mail	Web
Frunut	295 169 93	info@frunut.cl	<a href="http://www.frunut.cl/contacto.html">http://www.frunut.cl/contacto.html</a>
Natural nuts	Grey Hernandez F. 56 2 28221295	secretaria@naturalnuts.cl info@naturalnuts.cl	ó <a href="http://www.naturalnuts.cl/">http://www.naturalnuts.cl/</a>
Fer frut	264 94 67		<a href="http://www.ferfrut.cl/index.html">http://www.ferfrut.cl/index.html</a>
Frutexsa	2829 6000	info@frutexsa.cl	<a href="http://www.frutexsa.cl/">http://www.frutexsa.cl/</a>
Huertos del valle ltda	2 573 8200	info@huertosdelvalle.cl	<a href="http://www.huertosdelvalle.cl/">http://www.huertosdelvalle.cl/</a>
Pacificnut	2 5898000		
Valbifrut	Planta de proceso, 2821 19 11		<a href="http://www.valbifrut.cl/">http://www.valbifrut.cl/</a>
Comercial Agronut Limitada	7757963		
Exportadora Anakena	2 824 37 02	anakena@anakena.cl, productores@anakena.cl	<a href="http://www.anakena.cl/">http://www.anakena.cl/</a>
Nueces de selección	Mauricio berrios 90935604	m.e.berrios.a@gmail.com	FB
Nueces Santiago	97976619		FB
Nueces chichi	8083293		FB
Fucosa	92308802 , 227891312	ventas@frucosa.cl REBOTA	
Las almendras	Oficina Central:25015436, Producción Melipilla:78886388		<a href="http://www.lasalmendras.cl/">http://www.lasalmendras.cl/</a>
Agrícola Ballerina LTDA.	391 3000	labachballerina.cl	<a href="http://www.agricolaballerina.cl/">http://www.agricolaballerina.cl/</a>
Nueces Lonquen		Claudia, c.gutierrez@nueceslonquen.cl, o.nunez@nueceslonquen.cl	<a href="http://nueceslonquen.cl/">http://nueceslonquen.cl/</a>
Rinconada Walnuts	2876 4900, 56486230	sales@rinconadawalnuts.cl	<a href="http://www.rinconadawalnuts.cl">http://www.rinconadawalnuts.cl</a>

## Exportadores asociados a Chilenut

Compañía	Teléfono	Email
Agrícola El Raco Ltda.	(56-2) 2358974	<a href="mailto:asjnico@yahoo.com">asjnico@yahoo.com</a>
Agrícola Don Antonio	(56-2) 9516993	<a href="mailto:rbianchini@frunut.cl">rbianchini@frunut.cl</a>
<u>Agrícola Julia Ltda</u>	(56-2) 5702800	<a href="mailto:pmagnasco@monarch.cl">pmagnasco@monarch.cl</a>
Agroindustrial Claudio Matte Cia.Ltda	(56-2) 8212714	<a href="mailto:cmatte@clamatttec.cl">cmatte@clamatttec.cl</a>
<u>Bauzá Export Ltda.</u>	(56-2) 2066661	<a href="mailto:export@bauza.cl">export@bauza.cl</a>
Chile Food Ltda.	(56-9) 81885111	<a href="mailto:jphechem@gmail.com">jphechem@gmail.com</a>
Comercial Arquen Spa.	(56-2) 8558969	<a href="mailto:bbschmidt@bsgs.cl">bbschmidt@bsgs.cl</a>
<u>Comercial y Deshidratadora Graneros</u>	(56-2) 2235510 / (56-2)2236395	<a href="mailto:daromi@entelchile.net">daromi@entelchile.net</a>
<u>Comercializadora Metropolitana</u>	(56-2) 8243989	<a href="mailto:contact@andesnut.cl">contact@andesnut.cl</a>
<u>Dried Fruit Valley Spa.</u>	(56-2) 2428904	<a href="mailto:frivera@dfv.cl">frivera@dfv.cl</a>
Exportadora Agromar S.A.	(56-34) 408066	<a href="mailto:export@agromar.net">export@agromar.net</a>
<u>Exportadora Baika</u>	(56-2) 2462592	<a href="mailto:acarvallo@sanjosefarms.com">acarvallo@sanjosefarms.com</a>
<u>Exportadora Sudterra Frut S.A.</u>	(56-2) 4350574	<a href="mailto:info@sudterra.cl">info@sudterra.cl</a>
<u>Exportadora Topfrut Nuts.</u>	(56-2) 6565894	<a href="mailto:jduval@topfrut.cl">jduval@topfrut.cl</a>
Exportadora y Agroindustrial La Pinta Ltda.	(56-9)975191671	<a href="mailto:andrea@lapintaexport.com">andrea@lapintaexport.com</a>
<u>Frunut</u>	(56-2) 9516993	<a href="mailto:INFO@FRUNUT.CL">INFO@FRUNUT.CL</a>
<u>Global Inversiones Ltda.</u>	(56-2) 2630496	<a href="mailto:ventas@sorolla.cl">ventas@sorolla.cl</a> , <a href="mailto:carrasco@sorolla.cl">carrasco@sorolla.cl</a>
Haeussler Fontecilla	(56-9) 92253309	<a href="mailto:fundocalbu@CALBU.CL">fundocalbu@CALBU.CL</a>
<u>Horfrut Ltda.</u>	(56-2) 8559904	<a href="mailto:horfrut@horfrut.cl">horfrut@horfrut.cl</a>
Inversiones y Exportaciones Requiuex Ltda.	(56-2) 2841251	<a href="mailto:jlvia@cfv.cl">jlvia@cfv.cl</a>
<u>Monteandino</u>	(56-9) 98297763	<a href="mailto:info@monteandino.cl">info@monteandino.cl</a>
<u>Natural Nuts</u>	(56-9) 98796060	<a href="mailto:jevial@naturalnuts.cl">jevial@naturalnuts.cl</a>
<u>Rinconada walnuts</u>	(56-2) 28764900	<a href="mailto:sales@rinconadawalnuts.cl">sales@rinconadawalnuts.cl</a>
Silvonaturals	(56-9) 82340774	<a href="mailto:hmartin@sudterra.cl">hmartin@sudterra.cl</a>

## Anexo 6: Tabla probetas experimentación 1

**Aglutinante:** Aloe Vera

**Procesos para utilizar aglutinante:** Pelado manual de la hoja de aloe, luego se extrae el gel y se muele de manera manual, con juguera o minipimer.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>1</b> 66,6% cáscara (-1mm) - 33,3% Aloe vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera.	No determinado	Entre 3 y 5 mm de espesor. Sin embargo al manipularla se quiebra	Café claro y olor agradable, similar al de una galleta o madera. En cuanto a su textura, es porosa, y suelta polvillo al manipularla	No presenta hongos en más de un mes
<b>2</b> 66,6% cáscara (-1mm) - 33,3% Aloe vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera. Posteriormente se deja en un horno solar artesanal.	A casi dos meses de su fabricación a pesar de ser quebradiza, presenta gran resistencia a la compresión.	Entre 8 y 10 mm de espesor	Café oscuro en la cara superior y por dentro café claro. Olor agradable, similar al de una galleta o madera. Porosa, más rígida que la probeta con los mismos componentes pero no puesta al sol.	No presenta hongos en más de un mes
<b>3</b> 50% cáscara (2-5mm)- 50% Aloe vera	Mezcla de cáscara con gel molido con tenedor.	No aglutina, sin embargo se ven algunos trozos unidos y entre ellos una especie de capa fina transparente, como un film plástico.	No presenta	Olor y color propios de la cascara de nuez.	No presenta hongos en un mes

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
4 50% cáscara (2-5mm)- 50% Aloe vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera Presenta mayor volumen que cuando se realiza con tenedor.	No aglutina, sin embargo se ven algunos trozos unidos y entre ellos una especie de capa fina transparente, como un film plástico.	No presenta	Olor y color propios de la cascara de nuez.	No presenta hongos en más de un mes

**Aglutinante:** Nopal de Tuna

**Procesos para utilizar aglutinante:** Pelado manual de la penca, se extrae el gel y se muele con minipimer.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
5 50% cáscara (1-2mm)- 50% Aloe vera	Mezcla de cáscara con gel de nopal pasado por minipimer.	2 días	No se puede determinar	Fuerte olor a nopal y textura porosa	No presenta en 15 días

**Aglutinante:** Arcilla

**Procesos para utilizar aglutinante:** Comprar en polvo

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>6</b> 50% cáscara (-1mm)- 50% Arcilla + 100% Agua	Mezcla de cáscara con arcilla a la cual se agrega agua.	1 día	Disminuye en 3mm su tamaño y se mantiene constante en el tiempo.	Color café claro. No presenta olor característico y textura porosa	No presenta hongos en más de dos meses

**Aglutinante:** Agar-agar

**Procesos para utilizar aglutinante:** Formato sólido o polvo, se mezcla con agua caliente. En el caso del sólido, se muele con la mano.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>7</b> 66,6% cáscara (-1mm)- 33,3% Agar-agar + 1000% Agua	El agar agar se hierve en el agua y luego se mezcla con la cáscara.	1 día	A los dos días disminuye su largo en 7mm A los 4 días disminuye 5 mm más en su largo y 9 mm en su ancho A los 7 días ha disminuido 2 mm más en su ancho y 8 en su largo. Luego se mantiene constante en este tamaño.	Color café oscuro. Su textura pasa de ser gelatinosa a áspera.	A los tres días aparecen hongos blancos
<b>8</b> 66,6% cáscara (-1mm)- 33,3% Agar-agar + 1666% Agua	Se disuelve el agar agar en la olla y cuando hierve se agrega la cáscara en la misma olla.	Aglutina en un par de horas	Luego de un día se comienza a separar del contenedor (1 mm aprox). A los tres días, disminuye 5mm en su ancho. A los 7 días ha disminuido 5mm más en su ancho y 10 mm en su largo. A veinte días	Color café oscuro. En cuanto a la textura, comienza siendo gelatinoso, luego se llena de hongos.	A los tres días aparecen hongos, a los cinco días presenta gran cantidad de hongos.

			ha disminuido 10 mm más en su ancho y 15 mm más en su largo		
<b>9</b> 66,6% cáscara (-1mm)- 33,3% Agar-agar + 333,3% Agua	Se disuelve el agar agar en la olla y cuando hierve se agrega la cáscara en la misma olla.	En un par de horas, sin embargo no es homogéneo y solo aglutina en algunos sectores.	No presenta	Color café y verde. Su textura es porosa y heterogénea, pues presenta trozos de agar agar.	No presenta
<b>10</b> 50% cáscara (-1mm)- 50% Agar agar + 3500% Agua	Se mezclan la cáscara con el agar agar en polvo y se dejan por dos minutos a fuego lento.	En un par de horas	Al séptimo día a disminuido aproximadamente a la mitad	Presenta color café, su textura comienza siendo gelatinosa, luego se llena de hongos	Al tercer día presenta hongos blancos y verdes, gran cantidad.

**Aglutinante:** Almidón de arroz

**Procesos para utilizar aglutinante:** Hervir arroz y utilizar su líquido.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>11</b> 5% cáscara (-1mm)- 95% Almidón de arroz	Hervir arroz y mezclar el líquido con la cáscara.	No determinado.	Se resquebraja a los 6 días	Se forma una película delgada y áspera que se mantiene en el tiempo, presenta color café oscuro.	A los dos días aparecen hongos blancos, los cuales se agrandan y a los seis días aparecen hongos verdes.
<b>12</b> 5% cáscara (-1mm)- 95% Almidón de arroz	Hervir arroz y mezclar el líquido con la cáscara. Una vez mezclados se deja 1 minuto a fuego lento	No determinado.	Disminuye su tamaño y se resquebraja en varios trozos a los dos días.	Se forma una película delgada y áspera que se mantiene en el tiempo, presenta color café oscuro.	A los dos días aparecen hongos blancos



**Aglutinante:** Micelio /Hongo Ostra (Pleurotus ostreatus)- cepa CCL11

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>13</b> 70% Micelio- 30% Cáscara (1-2mm)	Para esta probeta solo se mezcla el maíz que tiene los hongos con la cáscara. Existen procedimientos que no se tomaron en cuenta por falta de información	No aglutina.	A un día de la mezcla, se comienzan a secar A los cinco días se agrega agua en gotas para que entregue humedad y se tapa con film plástico con orificios.	A los seis días, comienza a salir un olor similar a la leche en polvo, pero es un poco desagradable. Presenta una mezcla heterogénea entre maíz y cáscara de nuez	El día nueve comienzan a azumagarse (mohoso), se coloca de color verde.
<b>14</b> 70% Micelio- 30% Cáscara (2-5mm)	Para esta probeta solo se mezcla el maíz que tiene los hongos con la cáscara. Existen procedimientos que no se tomaron en cuenta por falta de información	No aglutina.	A un día de la mezcla, se comienzan a secar A los cinco días se agrega agua en gotas para que entregue humedad y se tapa con film plástico con orificios.	A los seis días, comienza a salir un olor similar a la leche en polvo, pero es un poco desagradable.	El día nueve comienzan a azumagarse (mohoso), se coloca de color verde.

**Aglutinante:** Maicena

**Procesos para utilizar aglutinante:** La maicena comprada en polvo se mezcla con agua y se hace hervir.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>15</b> 50% cáscara (-1mm)- 50% Maicena + 3500% Agua	Mezcla de cáscara con Maicena en polvo. La mezcla se deja dos minutos a fuego lento.	1 día	Se forma una capa muy delgada que se deforma, se curvan los bordes hacia adentro	Mezcla homogénea, de color café.	Al tercer día comienzan a aparecer hongos, se concentran en una sola cara, la se encima, la que esta hacia el contenedor no presenta

## Anexo 7: Tabla probetas experimentación 2

**Aglutinante:** Aloe Vera

**Procesos para utilizar aglutinante:** Pelado manual de la hoja de aloe, luego se extrae el gel y se muele con juguera.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>1</b> 60% cáscara (Grano 1) - 40% Aloe Vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera (10 segundos)	No aglutina	No presenta	Color café, olor agradable similar al de una galleta o madera	No presenta en más de un mes
<b>2</b> 60% cáscara (Grano 2) - 40% Aloe Vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera (10 segundos)	Se intenta sacar del molde al segundo día y está pegada. No aglutina	Se desgrana	Textura rugosa, hay manchas de color a partir de la oxidación de los sensores de humedad	No presenta en más de un mes

Observación: Los sensores de humedad y temperatura presentan oxidación/ Ya que no están dando resultados las probetas con Aloe Vera, se procede a utilizar un horno solar casero, y alcanzar temperaturas similares a las de la primera etapa de experimentación

**Aglutinante:** Aloe Vera

**Procesos para utilizar aglutinante:** Pelado manual de la hoja de aloe, luego se extrae el gel y se muele con juguera

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>3</b> 60% cáscara (Grano 1) - 40% Aloe Vera	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera, se coloca en horno solar alcanzando 30°C	Luego de 30 minutos se seca, pero no completamente.	No presenta	Color café, olor agradable similar al de una galleta o madera	No presenta en más de un mes
<b>5-6-7-8</b> probetas en distintos porcentajes y granulometrias,	Mezcla de cáscara con el gel pasado por juguera, se coloca en horno	No aglutinan completamente	No presentan	Color café, olor agradable similar al de una galleta o madera	No presenta en más de un mes

las que se someten a temperaturas de 30ª aprox.	solar alcanzando 30°C				
---	-----------------------	--	--	--	--

Observación: se utiliza Arduino para tomar las temperaturas/ Temperatura ambiente: 20,37°C.

A pesar de mantener el factor temperatura de la primera etapa de experimentación, las probetas no aglutinan completamente, por tanto se cambia el tipo de grano, tamizando con un colador de abertura 0,7 mm, utilizando el polvillo que pasa.

**Aglutinante:** Arcilla

**Procesos para utilizar aglutinante:** Se mezcla primero con la cáscara y luego con agua

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>9</b> 50% cáscara (grano 1) - 50% Arcilla + agua en la misma cantidad que arcilla.	Mezcla de cáscara con arcilla a la cual se le agrega agua.	No determinado, ya que al desmoldar se quiebra	Al tercer día aparecen fisuras, luego al manipularla se quiebra.	Se siente húmeda y porosa.	Al tercer día presenta pelillos verdes por encima.
<b>10</b> 50% cáscara (grano 2) - 50% Arcilla + agua en la misma cantidad que arcilla	Mezcla de cáscara con arcilla a la cual se le agrega agua.	No determinado, ya que al desmoldar se quiebra	Disminuye su tamaño en 2mm	Se siente húmeda, fría y porosa.	

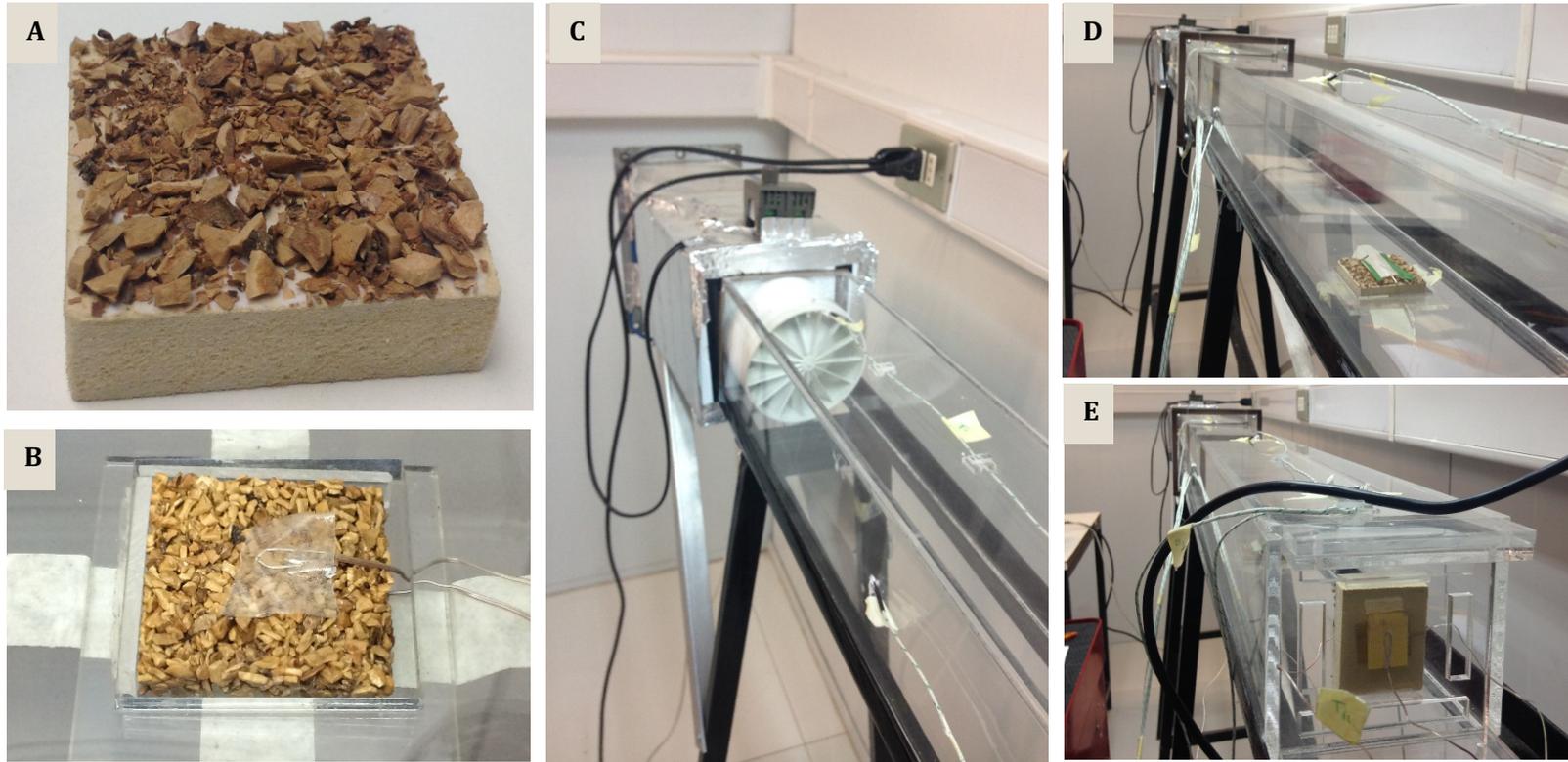
**Aglutinante:** Engrudo

**Procesos para utilizar aglutinante:** Se mezcla 500 ml de agua, 50gr de harina y se revuelve a fuego lento hasta que hierva, luego se deja enfriar y se agrega una cucharadita de vinagre.

Probeta/ Porcentajes	Procesos	Tiempo final de endurecimiento	Cambios en el tamaño	Propiedades sensoriales	Presencia de hongos
<b>11</b> 60% cáscara (Grano 1) - 40% Engrudo	Mezcla de cáscara con el engrudo.	Se secan de fuera hacia adentro. Al tercer día parece sólido y aglutinado, sin embargo al manipularla se rompe.	No se observan.	Se secan de fuera hacia adentro cambiando su color en los bordes. Su cara inferior está húmeda	Al tercer día comienzan a aparecer hongos blancos, al cuarto día aumentan
<b>12</b> 60% cáscara (Grano 2) - 40% Engrudo	Mezcla de cáscara con el engrudo.	Se secan de fuera hacia adentro.	No se observan.	Se secan de fuera hacia adentro cambiando su color en los bordes.	Al tercer día comienzan a aparecer en la cara inferior.
<b>13</b> 60% cáscara (Grano 1) - 40% Engrudo	Mezcla de cáscara con el engrudo. Luego se deja por dos horas con la lámpara infrarroja. Sin embargo al darla vuelta se quiebra	Luego de dos horas con ampolleta, se quiebra al darla vuelta. Se quiebra al manipularla.	No se observan.		
<b>14</b> 60% cáscara (Grano 2) - 40% Engrudo	Mezcla de cáscara con el engrudo. Luego se deja por dos horas con la lámpara infrarroja. Y luego se deja la cara inferior hacia arriba y se deja por dos horas más.	Luego de dos horas con ampolleta parece dura, sin embargo le falta para secarse a la cara inferior. Se quiebra al manipularla	No se observan.	Se quiebra al manipularla	

## Anexo 8: Ensayo térmico

Túnel de viento para ensayo térmico, Universidad de Santiago de Chile (Usach)



A. Probeta Masisa-Cáscara de Nuez (ensayo 8 Enero); B. Probeta Cáscara de Nuez (ensayo 13 Mayo); C. Tunel de viento zona ventilador; D. Probeta horizontal; E. Probeta Vertical .

## Anexo 9: Interpretación ACV; Huella de carbono y Huella Ambiental

### Huella de Carbono

	Umberto	Excel	
Molienda	0,00127	0,00123498	kg CO2 eq
Mezclado y moldeado	0,03	0,03295738	kg CO2 eq
Secado	0,04	0,035	kg CO2 eq
Total:	0,07127	0,06919235	kg CO2 eq

	Umberto	Excel	
Materia prima	0,03	0,03291265	kg CO2 eq
Producción	0,04	0,0360976	kg CO2 eq
Distribución	0,00023	0,0001821	kg CO2 eq
Total:	0,07023	0,06919235	kg CO2 eq

### Huella Ambiental

	Huella ambiental
Molienda	0,000108528
Mezclado y moldeado	0,004356704
Secado	0,003
Total:	0,007465232

	Huella ambiental
Materia prima	0,004352
Producción	0,00309408
Distribución	0,000021888

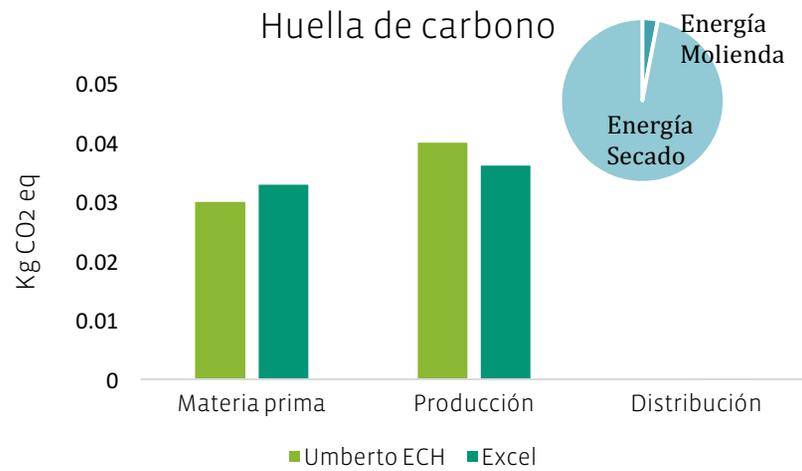


Gráfico Huella de carbono por etapas de ciclo de vida. Elaboración propia.

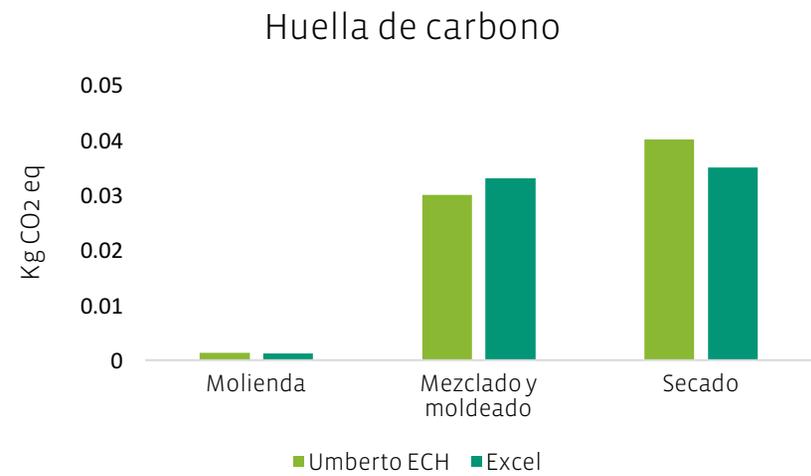


Gráfico huella de carbono por etapas de procesamiento. Elaboración propia.

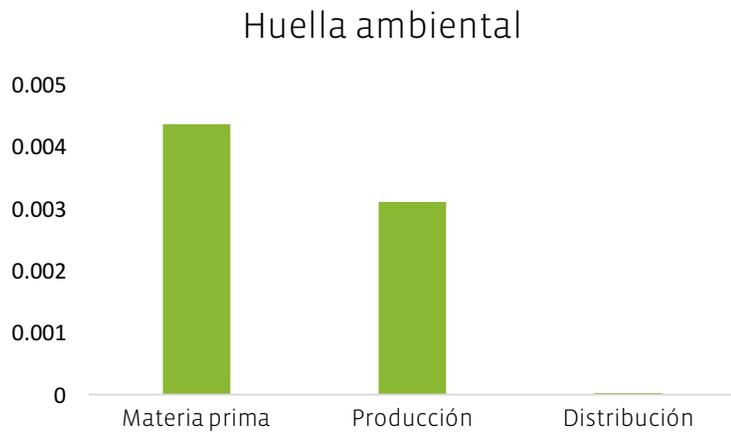


Gráfico huella Ambiental por etapas de ciclo de vida. Elaboración propia.



Gráfico huella Ambiental por etapas de procesamiento. Elaboración propia.

## Anexo 10: Entrevista a informante clave

Entrevista en Chilenut, asociación de productores y exportadores de nueces de Chile.

Objetivo específico	Método	Técnica	Instrumentos	Herramientas
Corroborar datos obtenidos mediante revisión bibliográfica	Cualitativo	Entrevista	Cuestionario	Papel, lápiz y grabadora

---

Objetivo General: Corroborar datos obtenidos mediante revisión bibliográfica para identificar y conocer acerca de la industria de nueces en Chile.

---

Nombre:

Cargo:

Mail o teléfono de contacto:

En cuanto al nogal

1. ¿Cada cuantos metros se están plantando los nogales?
2. ¿Cuántas toneladas se dan por hectárea?
3. ¿Qué variedad es la más utilizada en Chile?
4. ¿Existen diferencias relevantes entre las distintas variedades?
5. ¿Cuál es la época de cosecha hoy?
6. Según normas de exportación hay nueces que no pasan por su calibre, que se hace con ellas y se maneja que porcentaje o cantidad corresponde a estas aprox?

En cuanto a datos y cifras

7. Cuáles son los datos actuales que Uds. manejan en cuanto a:

-Plantaciones en el país

-Producción

-Exportaciones, cuantas con cáscara y cuales sin cáscara

En cuanto a las cáscaras y el pelón

8. En qué momento se desechan el pelón y la cáscara?
9. En que época del año puedo obtener cáscara de nuez? Y pelón?
10. ¿Conoce usos que se les esté dando a las cáscaras o pelón?
11. ¿Sabe si venden las cáscaras y si es así, cuál es el valor de un kilo de cáscara?
12. ¿Quiénes son los mayores productores de nueces hoy en el país?
13. Manejan un listado de productores o procesadores de nueces actualizado?

