



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# **DESARROLLO DE UN MATERIAL BASADO EN RESIDUOS DE PAPA PARA SU UTILIZACIÓN EN IMPRESIÓN 3D**

**LUCÍA GASCÓN MARTÍNEZ DE QUEL**

PROFESORES GUÍA:  
ANDREA WECHSLER PIZARRO  
ÁNGEL VICENTE ESCUDER

SANTIAGO DE CHILE

2020



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesora guía Andrea Wechsler por su conocimiento e implicación en el proyecto, por ser fuente de inspiración y un apoyo fundamental durante esta atípica e importante etapa.

A la Universidad de Chile por permitirme acceder a este proyecto y participar en él.

Al restaurante “Gennaro´s” por proporcionarme las cáscaras de papas indispensables para el desarrollo de este proyecto.

A la empresa de papas “Primor” por proporcionarme información acerca del proceso de producción de papas fritas y permitirme conocer sus instalaciones y maquinaria.

A Cristian Urra, por su compromiso y esfuerzo en la modificación de la impresora 3D a tiempo para permitirme realizar la comprobación de mi material.

A mis compañeros de intercambio, en especial a Alexis, por comer papas por encima de sus posibilidades y por proporcionarme el apoyo necesario durante esta complicada etapa.

A familia y amigos, por acompañarme en todos los retos de mi vida, en especial a María por haber sido mi fiel compañera durante toda la carrera.



## **RESUMEN**

Este proyecto tiene como principal objetivo desarrollar un material basado en los residuos de papa que genera la industria agroalimentaria chilena y adaptarlo para su implementación en la impresión 3D.

Esta investigación se desarrolló en tres etapas, en la primera etapa se identifica y caracteriza la cáscara de papa como materia prima, en la segunda se desarrolla el material basado en el almidón de la piel de la papa y en la tercera se caracteriza el material y se comprueba en la impresión 3D.

La primera etapa comienza con la investigación y determinación de la huella residual que deja esta industria en Chile y tras la revisión de las características de este residuo se define el almidón de la cáscara de papa como materia prima.

Una vez estudiado el residuo, durante la segunda etapa se define el método de extracción del almidón utilizado y, basándose en tres recetas, se llevan a cabo pruebas de fluidez con una manga pastelera con el objetivo de escoger la que mejor se adaptara a las características de fluidez esperadas.

Durante la tercera etapa se analizan las características físicas y mecánicas del material desarrollado, así como su exposición a diferentes agentes externos.

Debido al objetivo de implementar este material basado en almidón de residuos de papa en la impresión 3D se ha llevado a cabo un seguimiento de secado y se han definido diferentes parámetros vinculados a este proceso de acuerdo a sus características.

Finalmente se realizó un análisis perceptual del material desarrollado.

El material resultante demostró su capacidad de biodegradarse con un resultado de pérdida de peso, durante un mes de ensayo, de un 47,1%.

Este material desarrollado presenta buenas propiedades reológicas para su implementación en la impresión 3D y se han podido definir diferentes parámetros como el tamaño de la boca de la impresora, de 5mm de diámetro, además de la velocidad de impresión de 10 segundos para imprimir un hilo de 10 cm de largura y 4 mm de alto y ancho.

Finalmente se ha desarrollado un cuadro general con toda la información obtenida sobre el desarrollo de este material y su método de trabajo con el objetivo de orientar aplicaciones futuras.

El diseño está constantemente adaptándose a los nuevos avances para mejorar en la medida de lo posible tanto la calidad de vida como el estado de nuestro entorno. La impresión 3D está cada vez más implantada en diferentes ámbitos de esta disciplina, hecho que, en este proyecto, se relaciona directamente con la necesidad de ofrecer una alternativa de fin de vida a la gran cantidad de desechos generados, en este caso en Chile.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	9
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS</b> .....	10
<b>OBJETIVOS</b> .....	11
<b>MÉTODOS</b> .....	12
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	13
<b>1.2 SOSTENIBILIDAD Y MATERIALES</b> .....	14
1.2.1 <i>Desarrollo sostenible</i> .....	14
1.2.2 <i>Economía circular</i> .....	15
1.2.3 <i>Ecodiseño</i> .....	17
1.2.4 <i>Criterios de sustentabilidad</i> .....	17
<b>1.3 MARCO CONCEPTUAL MATERIAL</b> .....	20
1.3.1 <i>Papa</i> .....	20
1.3.2 <i>Origen</i> .....	20
1.3.3 <i>Zonas productoras de papa en Chile</i> .....	20
1.3.4 <i>Variedad de papas en Chile</i> .....	22
1.3.5 <i>Procesamiento industrial de papas fritas y estado del residuo</i> .....	23
1.3.6 <i>Almidón</i> .....	25
1.3.7 <i>Propiedades estructurales del almidón</i> .....	25
1.3.8 <i>Almidón de papa</i> .....	28
1.3.9 <i>Extracción del almidón</i> .....	29
1.3.10 <i>Gelatinización y retrogradación del almidón</i> .....	31
1.3.11 <i>Plásticos biobasados</i> .....	33
<b>1.4 MARCO CONCEPTUAL IMPRESIÓN 3D</b> .....	35
1.4.1 <i>Impresión 3D</i> .....	35
1.4.2 <i>Características de materiales utilizados en impresión 3D</i> .....	36
1.4.3 <i>Impresión 3D a partir de materiales biobasados</i> .....	37
<b>1.5 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN</b> .....	38

<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
<b>2.1 LUGAR DE REALIZACIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>42</b>
2.2.1 <i>Selección de la muestra y estado del residuo.....</i>	42
2.2.2 <i>Extracción del almidón a partir de la cáscara de la papa .....</i>	44
2.2.3 <i>Búsqueda de recetas y elaboración del plástico biobasado .....</i>	46
2.2.4 <i>Análisis reológico del material desarrollado y selección de la receta.....</i>	47
2.2.5 <i>Análisis de secado de las muestras .....</i>	49
2.2.6 <i>Caracterización del comportamiento físico y mecánico del polímero.....</i>	53
2.2.7 <i>Fase experimental con la impresora 3D.....</i>	60
2.2.8 <i>Análisis perceptual del material .....</i>	61
<b>2.3 ESTUDIO DE APLICACIONES EN EL DISEÑO .....</b>	<b>63</b>
2.3.1 <i>Usuario y objetivo de este desarrollo .....</i>	63
2.3.2 <i>Aplicaciones en el diseño.....</i>	64
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1 RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
3.1.1 <i>Selección de la muestra y estado del residuo.....</i>	65
3.1.2 <i>Resultado extracción del almidón a partir de la cáscara de la papa .....</i>	66
3.1.3 <i>Análisis reológico y selección y definición de la receta.....</i>	68
3.1.4 <i>Resultado del seguimiento de secado de las muestras .....</i>	69
3.1.5 <i>Caracterización del comportamiento físico y mecánico del polímero.....</i>	73
3.1.6 <i>Resultados comprobación con la impresora 3D .....</i>	80
3.1.7 <i>Resultados Análisis perceptual .....</i>	82
<b>3.2 ESTUDIO DE APLICACIONES EN EL DISEÑO .....</b>	<b>85</b>
3.2.1 <i>Usuario y objetivo de este desarrollo .....</i>	85
3.2.2 <i>Propuestas de aplicaciones en el diseño.....</i>	87
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>91</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Este proyecto se enmarca en el proyecto “FONDART” llamado “Investigación y desarrollo de un sistema open source de prototipado 3D para materiales biobasados” cuyo número de folio es 531807, que está siendo desarrollado por la Universidad de Chile.

Este proyecto tiene como objetivo estudiar y compartir el valor potencial que tienen los residuos orgánicos en cuanto al desarrollo de polímeros biobasados e implementarlos en la impresión 3D. Se modificará una impresora 3D para que haga fluir a temperatura ambiente los materiales biobasados desarrollados.

En este proyecto es la cascara de papa el residuo escogido para realizar el estudio debido a su potencial, basándonos en el estado del arte analizado y en la cantidad de este que se genera en el país.

### **Identificación del problema**

Chile es un país donde se consumen grandes cantidades de papas en diferentes formas, el consumo medio por persona y año equivale a 50/55 kg. Esta industria genera una cantidad considerable de residuos entre los que destaca la piel de la papa, la cual no tiene ninguna utilidad y es desechada totalmente.

Gracias a la información de la empresa procesadora de papas “Primor” se ha podido concretar que se producen semanalmente 30 kg de residuos sólidos durante los 5 días laborables semanales. La empresa manufacturera de papas fritas “Primor” es una empresa considerada pequeña dentro de la magnitud de esta industria, lo que evidencia la cantidad de residuos generados por la industria procesadora de papas al completo.

A ese residuo se suma el excesivo consumo de plásticos tradicionales y la problemática que supone la descomposición de estos, ya que este proceso de forma natural dura varios años y resulta nocivo para el medio ambiente.

Por ello se plantea la oportunidad de dar una segunda vida a esos residuos desarrollando un material que sustituya a los plásticos utilizados en la impresión 3D, proceso que permite desarrollar prototipos de forma rápida y personalizables al detalle.

## **Pregunta de investigación e hipótesis**

### **Pregunta de investigación general**

¿Es posible desarrollar un material basado en piel de papa que sustituya a los plásticos utilizados en la impresión 3D?

### **Preguntas de investigación específicas**

- ¿Puede ofrecer el material desarrollado una alternativa de fin de vida a los desechos de la industria de la papa?
- ¿Es posible desarrollar un material a partir de la cáscara de papa desechada por la industria procesadora de la papa que fluya a través de un mecanismo de extrusión?
- ¿Puede implementarse el material desarrollado en la impresión 3D?

### **Hipótesis general**

Al extraer el almidón de las cáscaras de papa procedentes de la industria alimenticia, y tras modificarlo con la adición de otros reactivos (agua, vinagre y glicerina), se obtendrá un polímero biobasado que permita ser moldeado con características similares a los plásticos utilizados en impresión 3D. En este caso se modificará una impresora 3D para que pueda imprimir el material fluido a temperatura ambiente.

### **Hipótesis específicas**

- El material obtenido ofrece extender la vida de los residuos de la industria procesadora de la papa.
- Se puede desarrollar un material basado en cáscara de papa desechada por la industria procesadora de la papa que fluya a través de un mecanismo de extrusión.
- Dicho material puede ser utilizado en impresión 3D y tiene diversas aplicaciones en diseño.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- El objetivo de este proyecto de investigación es desarrollar un material basado en la cáscara de la papa para su implementación en la impresión 3D.

### **Objetivos específicos**

- Identificar las materias primas relevantes y definir las cualitativa y cuantitativamente mediante un proceso de investigación contextual.
- Desarrollar un material basado principalmente en la cáscara de papa desechada y evaluar las características físicas y su comportamiento ante agentes externos.
- Comprobar la implementación del material basado en la cáscara de papa desechada en la impresión 3D.

## **Métodos**

Se muestra a continuación un resumen de los métodos utilizados en las actividades de cada etapa definida.

Durante la primera etapa se desarrolló una revisión de literatura con el objetivo de contextualizar la investigación y definir la huella residual que deja la industria procesadora de la papa en Chile.

Se estudiaron proyectos relacionados con el uso de la papa para el desarrollo de materiales con el objetivo de definir el estado de la materia prima y materiales que se necesitarían en el desarrollo de esta investigación.

En la segunda etapa se reunió el material en las condiciones definidas en la fase anterior y se definió el método de extracción de almidón, materia utilizada para el desarrollo del material.

A partir del almidón obtenido se reprodujeron tres recetas cuyos materiales resultantes fueron sometidos a un análisis reológico. Los resultados de este análisis se compararon con el objetivo de escoger la receta que mejor se adaptara a las necesidades reológicas del proceso de impresión 3D.

Durante la tercera etapa se llevó a cabo un estudio de secado con el objetivo de escoger el método que mejores resultados otorgara y se realizó una caracterización física del material definiendo su densidad, su absorción de agua e hinchamiento además de someterlo a agentes externos a través de ensayos de biodegradabilidad y envejecimiento natural.

A continuación, se comprobó su implementación en la impresión 3D y se definieron parámetros relacionados con este proceso.

Finalmente se llevó a cabo un análisis perceptual del material y con el objetivo de orientar posibles aplicaciones futuras se desarrolló un cuadro resumen con toda la información obtenida durante esta investigación acerca del desarrollo del material y su método de trabajo.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Identificación del problema**

Haciendo referencia a la información ofrecida por el Ministerio de Agricultura de Chile, se cultivan aproximadamente 50 mil hectáreas de papas en el país siendo el cuarto cultivo en superficie y el que cuenta con mayor número de agricultores (ODEPA, 2008).

Durante la temporada de 2015/2016, se exportaron 4.450 toneladas de las 216 variedades de papas nativas de Chile. Esto es debido a que el consumo de papas per cápita en Chile equivale a 50/55 kg por persona y año, ascendiendo a 70/90 kg en países más desarrollados.

En Chile la mayoría de la producción se lleva a cabo en el sur por pequeños agricultores no industrializados y consumiéndose fresco el 60% de lo recolectado.

A estas cifras y a las condiciones idóneas del país para producir, se le suma una previsión de crecimiento exponencial de siembra debido a que se trata de un alimento muy eficiente que produce un gran número de alimentos por unidad de superficie (Cenem, 2016).

Esto evidencia el elevado consumo de este tubérculo, que sin duda supone a su vez un notable volumen de residuos.

De acuerdo a la información recibida de la empresa de papas “Primor”, siendo esta una empresa originaria de Rancagua, se ha podido concretar que en una empresa considerada pequeña dentro de la industria se producen semanalmente 30 kg de residuos sólidos semanales, con 5 días de producción.

Tanto estos residuos sólidos como los líquidos no tienen utilidad, actualmente son empresas de vaciado de fosas las que se encargan de extraerlos de las cámaras de decantación donde son almacenadas en las empresas productoras de papa y son procesadas en plantas de tratamiento para su eliminación (Primor, 2020).

## 1.2 Sostenibilidad y materiales

### 1.2.1 Desarrollo sostenible

En las últimas décadas, la actividad industrial desarrollada y la explosión demográfica ha producido un deterioro ambiental que ha llevado a replantear los procesos de producción, así como los recursos utilizados orientándolos hacia una fórmula de máximo aprovechamiento de recursos naturales (Cervantes et al., 2009).

El método de producción seguido, utilizando los recursos de forma poco consciente hasta el momento, han llevado a una crisis climática que requiere una rápida intervención para tratar de revertir la situación.

Los humanos vivimos por encima de nuestras posibilidades en cuanto a la utilización de recursos, el 22 de agosto de 2020 fue el día en el que se agotaron los recursos naturales (como el aprovechamiento forestal, las emisiones de CO<sub>2</sub> o la demanda de alimentos) de todo el año, durante el tiempo restante se reducen las reservas y se acumula más cantidad de dióxido de carbono, aumentando el déficit ecológico (GFN, 2020).

A esta sobreexplotación de recursos naturales se le suma la excesiva producción de residuos y las emisiones de contaminantes imposibles de neutralizar para el medio ambiente. Durante el año 2017 se generaron en Chile 23 millones de toneladas de residuos de origen industrial y municipal (REMA, 2019).

Analizando ese dato con la población de Chile, se evidencia la insostenibilidad del desarrollo llevado a cabo.

A lo largo de la historia se han llevado a cabo diversos intentos por intervenir en el proceso de producción establecido con el objetivo de hacerlo más sostenible.

Durante las décadas de los 60's y 70's aparecieron los primeros movimientos sociales cuyo objetivo era intervenir estos procesos (Cervantes et al., 2009), y no fue hasta 1987 cuando en el informe Brundtland se definió el concepto de desarrollo sostenible, considerándose la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer a las futuras generaciones respecto a la satisfacción de sus propias necesidades (ONU, 1987).

**Figura 01:** Metas de la ecología industrial.



**Fuente:** (Cervantes et al., 2009).

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

A partir de este análisis de desarrollo sostenible, se acuña el término de la ecología industrial, la cual tiene como objetivo garantizar el desarrollo sustentable a todos los niveles relacionando economía, sociedad y medio ambiente.

Estas interrelaciones quedan definidas en la Figura 01, donde se definen las áreas en las que debe darse a la vez el desarrollo sostenible para que este se considere como tal. Estas áreas son la economía, la sociedad y el medio ambiente y estas deben interactuar de forma eficiente, creando ambientes seguros y saludables, asegurando una igualdad socioeconómica y maximizando la eficiencia del uso de recursos, lo que conllevaría la mejora de bienestar de la comunidad, el aumento de la eficiencia de las prácticas económicas y se protegerían los principios ecológicos (Cervantes et al., 2009).

### 1.2.2 Economía circular

Tras la definición del término de ecología industrial, se inició un desarrollo para la transformación del modelo industrial tradicional hacia un modelo donde se optimicen los recursos y se reduzcan los residuos generados.

Surgió entonces la economía circular, considerada una filosofía de organización de sistemas que inspiró su proceso en los seres vivos replicando su modelo circular y regenerativo debido a que el sistema lineal de producción, uso y desecho cada vez era más insostenible debido a la escasez de recursos (Balboa et al., 2014).

En un modelo de economía lineal se parte de materias primas que tras su producción y uso se desechan convirtiéndose así en residuos. Sin embargo, a partir del sistema circular, estas materias primas tras ser producidas y usadas pueden ser recicladas, lo que inicia el ciclo de nuevo hacia su reelaboración y reutilización (Balboa et al., 2014).

En la figura 02 se muestra una comparación entre ambos sistemas.

**Figura 02:** Esquema economía circular y lineal.



**Fuente:** Frosch, 1992.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

La economía circular cuenta con tres niveles de acción:

- Obtención de mayor eficiencia a través de la regla de las “3R”: reducir el consumo de recursos naturales y la emisión de residuos nocivos, reutilización de estos mismos recursos y reciclaje de los componentes producidos.
- Reutilización y reciclaje de recursos en parques eco-industriales.
- Integración de sistemas de producción y de consumo localizados.

El desarrollo de estos tres niveles supuso el inicio de recuperación de recursos, además del desarrollo de nuevas oportunidades empresariales debido al incremento de las inversiones en empresas con este sistema (Balboa et al., 2014).

La filosofía de diseño basada en de la Cuna a la Cuna representó la aplicación de este sistema de economía circular al mundo del diseño ecológico, denominado ecodiseño.

El ecodiseño fue definido y desarrollado por Braungart y McDonough a través de la consideración de diferentes factores entre los que está la ecoefectividad. Este término fue definido como el trabajo y esfuerzo en desarrollar las cosas correctas en vez de tratar de considerar las cosas incorrectas aceptables (Braungart & McDonough, 2005), es decir, no solo se debe buscar reducir el impacto hasta casi ser imperceptible, sino desarrollar un sistema que trate de recuperar el daño ambiental causado.

A partir del análisis de estos nuevos términos y nuevas corrientes ecológicas, los autores Braungart y McDonough desarrollaron un modelo, el “Cradle to cradle” en el que se define un nuevo sistema de producción cuyo objetivo es el desarrollo de procesos menos dañinos para el medio ambiente.

Estos autores tratan de reforzar el concepto de ecoefectividad y equilibrio entre economía, la igualdad y la ecología dentro del mundo del diseño.

Este término de ecoefectividad tiene como objetivo la eliminación del concepto de residuo, ya que consideran que todos los materiales pueden ser devueltos a la tierra una vez utilizados, por ello, de la Cuna a la Cuna define la basura como equivalente de alimento.

Esto vincula estos materiales con un proceso de producción de ciclo circular, donde estos desperdicios se considerarían de nuevo un recurso, siendo un nutriente porque se convierte en la materia prima para otro ciclo o un “alimento” para la tierra ya que se devuelve a esta en forma de nutriente (Braungart & McDonough, 2005).

Este modelo definido aplica la economía circular al mundo del diseño, logrando sistemas de producción más efectivos ecológicamente y menos dañinos eliminando el concepto residuo y considerando esos materiales resultantes como materias primas para nuevos ciclos.

### *1.2.3 Ecodiseño*

Cada día hay mayor conciencia sobre el impacto y las consecuencias que diferentes comportamientos humanos pueden tener sobre el medio ambiente, sin embargo, a día de hoy, el sistema de producción industrial principal es lineal debido a que persigue una producción rápida que conlleve el traspaso precoz de productos al mercado (Braungart & McDonough, 2005).

Debido a las consecuencias de este comportamiento industrial, se busca un diseño sostenible centrado en la consciencia de las consecuencias del sistema de producción, por ello se incorpora una consideración y evaluación del impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de un producto y el control de la emisión de residuos y su utilización.

Este proceso se ve reflejado en el proceso de diseño, donde el diseñador debe tomar parte consciente y ser consecuente con su trabajo para colaborar en este proceso.

La aplicación de esta filosofía en el mundo del diseño tiene como objetivo desarrollar una actividad de diseño y producción más sostenible, además tiene numerosas ventajas como: reducir los costos de producción debido a la mayor eficiencia energética y material, reducir el consumo de productos y recursos, alargar la vida útil de los productos, orientar su producción hacia tecnologías y sistemas de producción más limpios y reducir o incluso eliminar los costes de manipulación y tratamiento de los residuos generados por estos procesos (Balboa et al., 2014).

El diseñador debe involucrarse en el desarrollo de nuevos procesos y productos sostenibles para el medio ambiente, ya que con un cambio en estos métodos tradicionales orientados hacia la ecoefectividad y desarrollando un diseño para el medio ambiente, puede lograrse el avance hacia una producción más sostenible.

### *1.2.4 Criterios de sustentabilidad*

El objetivo de este proyecto es desarrollar un material de bajo impacto ambiental, por ello es necesario definir los criterios de sustentabilidad considerados durante todo el proceso.

Se definen a continuación los diferentes criterios que se considerarán para el desarrollo y evolución del material en relación a los tres ámbitos relacionados anteriormente con la ecología industrial: economía, medio ambiente y sociedad.

- Recursos naturales renovables

La elección de recursos cuyas fuentes son renovables ayuda al mantenimiento de aquellas que no lo son (Ashby and Johnson, 2002). Estas fuentes renovables son aquellas cuya extracción no supera a su regeneración (Vezzoli et al., 2014), es importante esta definición debido a que hay fuentes naturales que se renuevan, pero sin embargo su sobreexplotación impide que éstas puedan hacerlo de forma eficaz, por ello no todas las fuentes naturales son consideradas renovables.

- Recursos locales

Que la materia prima utilizada en el proceso de producción sea local minimiza los costos de transporte y sus consecuencias, además, gracias a la involucración de sectores locales durante el proceso de producción se deja valor agregado a los comercios locales (Vezzoli et al., 2014).

- Utilización de residuos como recursos

A través de un sistema de reciclado se reintegra un residuo en un nuevo ciclo de producción, pasando de un flujo lineal de obtención de recursos a uno circular. Este es el método más efectivo de valorizar los residuos (Ashby and Johnson, 2002).

Este proceso de reutilización de residuos evita su eliminación, produciendo una reducción de costos de procesamiento de residuos y además evita la extracción de nuevos materiales para el proceso ahorrando energía (Ashby and Johnson, 2002).

- Inocuidad para la salud

Que un material tenga bajo impacto o no tenga sobre la salud humana quiere decir que no es tóxico, es decir, que no emite sustancias tóxicas o nocivas que repercutan en la salud de cualquier especie, humana o animal, y en el medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida (Ashby and Johnson, 2002).

- Eficiencia energética

Es preferible la utilización de recursos energéticos eficientes, incluso de fuentes renovables, para ahorrar energía.

Esta utilización consciente de los insumos energéticos no solo produce una reducción de costos, sino que además disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero o causantes de la lluvia ácida. En caso de utilizar fuentes renovables se proporciona autonomía durante todo el proceso de producción (Aranda and Zabalza, 2010).

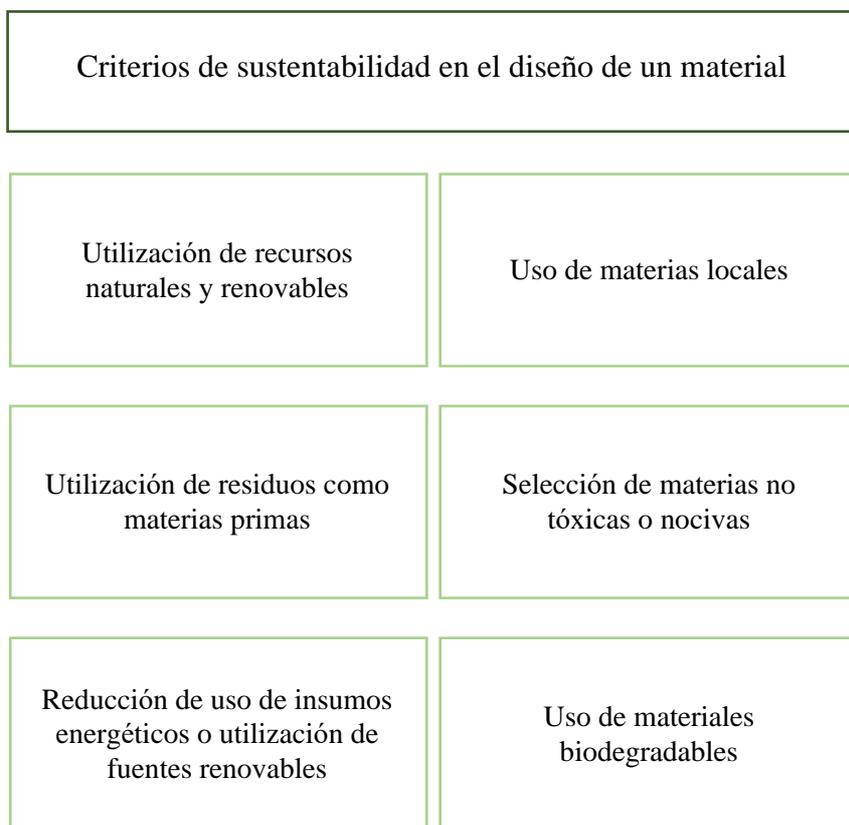
- Biodegradabilidad

Los materiales basados en recursos naturales tienden a reincorporarse al ecosistema descomponiéndose en CO<sub>2</sub> y agua gracias a la actuación de microorganismos en un periodo de tiempo relativamente corto (Ashby and Johnson, 2002).

Sin embargo, no todos los materiales de recursos naturales cumplen esta condición, por lo que un requisito de este criterio será escoger un material natural que lo cumpla.

En la figura 03 se muestra un cuadro resumen de los criterios de sustentabilidad en el diseño de un material que se tendrán en cuenta durante el desarrollo de este proyecto.

**Figura 03:** Criterios de sustentabilidad en el diseño de un material.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## **1.3 Marco conceptual material**

### *1.3.1 Papa*

La papa es un tubérculo considerado uno de los cultivos más producidos por todo el mundo. Es un fruto con un alto contenido de carbohidratos y resulta muy versátil ya que puede ser cocinada y utilizada de forma muy diversa alrededor de todo el mundo.

Hay más de 4.000 variedades de papa, 216 nativas de Chile (Fao, 2008).

La papa, recién extraída de la mata, está conformada por un 80% de agua y un 20% de materia seca, siendo el almidón entre el 60% y el 80% de esta última (Fao, 2008).

### *1.3.2 Origen*

La papa, o patata, es originaria de América del Sur.

Su historia se remonta hasta hace unos 8.000 años cerca del lago Titicaca, en la frontera entre Bolivia y Perú. Los indígenas de la zona comenzaron a cultivarlas ya que se convirtieron en la base de su alimentación por su facilidad y productividad de cultivo (Fao, 2008).

Estas se extendieron a Europa tras la conquista española. Al día de hoy y gracias a dicha difusión y desarrollo de los cultivos, Asia y Europa son los principales continentes productores del tubérculo, suministrando el 80% del consumo a nivel mundial (Fao, 2008).

### *1.3.3 Zonas productoras de papa en Chile*

La producción de papas se extiende por todo el país, sin embargo, casi la totalidad de está se concentra principalmente entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.

Para analizar la producción de papa en Chile podemos dividirlo en tres zonas: centro norte, centro sur y sur. Lo producido en el resto del territorio no se realiza al mismo nivel por lo que puede desestimarse (INIA, 2017).

• *Zona centro norte*

Se incluyen las provincias de Coquimbo, Valparaíso y Región Metropolitana.

Coquimbo es una de las regiones con mayor producción. Los principales sectores son El Romero, Coquimbito, Altovalson y Pan de Azúcar. En esta región la papa es cultivada durante todo el año y algunas de sus variedades más plantadas son la papa *Asterix* y la *Sinfonía*.

En Valparaíso, la mayoría de la mercancía es destinada principalmente al mercado mayorista de Santiago y se extienden a lo largo de los valles longitudinales. Las principales variedades en esta región debido a su clima son *Cardinal*, *Rosara* y *Asterix*.

La producción de la Región Metropolitana se extiende en medio de los valles que recorren la costa hacia el litoral central. Aquí se encuentran la mayoría de empresas procesadoras de papa. En esta región se cultivan diversas variedades del tubérculo, algunas similares a las dos regiones anteriores.

Fuente: (INIA, 2017).

• *Zona centro sur*

Se incluyen las provincias de O'Higgins, Maule y Biobío.

La principal actividad productiva de la región del Libertador Bernardo O'Higgins es agropecuaria-silvícola. Es la que tiene mayor superficie plantada con papas, con 1.687,1 hectáreas cultivadas.

La economía de la región del Maule se basa fundamentalmente en la agricultura y se pueden encontrar numerosas variedades del tubérculo.

La región de Biobío se conforma por las provincias de Arauco, Biobío, Concepción y Ñuble. Cuenta con una superficie de 8.292,88 hectáreas de cultivos de papas concentradas en las provincias de Ñuble y Arauco.

Fuente: (INIA, 2017).

- *Zona Sur*

Está conformada por la provincia de Arauco, de la región del Biobío; y las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Esta es la principal zona productora de papas del país debido a sus condiciones climatológicas que cuentan con mayores precipitaciones y mejores condiciones de humedad y temperatura.

La región de La Araucanía es la de mayor superficie de papas plantadas de Chile. La variedad principal de la zona es la “papa de guarda”.

En la Región de Los Ríos destaca por su elevada producción el sector Río Bueno-La Unión. En este caso la variedad mayormente cultivada es la misma que en la región anterior, la “papa de guarda”, destinada fundamentalmente al mercado mayorista de Santiago. Se encuentran además las mayores empresas productoras de semillas.

La Región de Los Lagos, constituida por las provincias de Chiloé, Llanquihue, Osorno y Palena, posee la segunda mayor superficie de plantaciones de papas del país. Se puede destacar su volumen de producción y su rendimiento. En esta región se concentra la mayor variedad de papas cultivadas ya que se han establecido numerosas empresas que producen semillas, así como productoras de variedades.

Fuente: (INIA, 2017).

#### *1.3.4 Variedad de papas en Chile*

Debido al origen de la papa, cuya cuna son los Andes, hoy se sabe que diversas variedades cultivadas por todo el mundo son nativas de Chile. Este es el 6º productor de papa de América Latina (Fao, 2008).

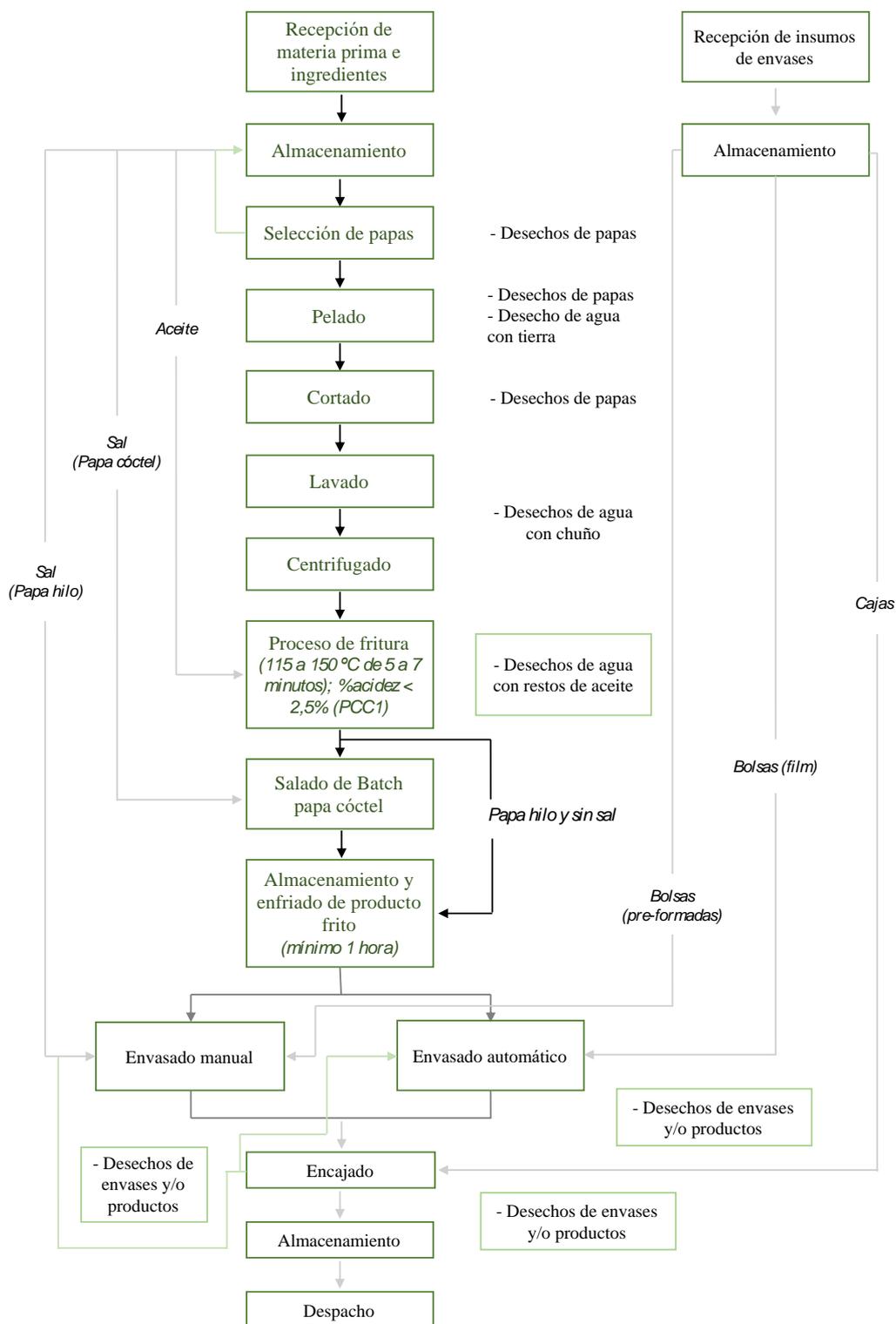
Según ODEPA (2008), la papa más cultivada y comercializada en Chile es la llamada *Desireé*. Esta es una clase de origen holandés. Como la mayoría de variedades chilenas, son de piel rojiza y pulpa amarilla clara.

El mercado y cultivo chileno ha evolucionado y algunas de las clases más sembradas son: Asterix, Cardinal, Rosara, Karú, Pukará, Yagana y Blanca (ODEPA, 2008).

### 1.3.5 Procesamiento industrial de papas fritas y estado del residuo

Para determinar la cantidad y el estado del residuo generado por la industria de papas en Chile me puse en contacto con la empresa Primor. Se muestra a continuación su flujo de producción.

**Figura 04:** Flujo producción papas fritas.



**Fuente:** Primor, 2020.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En la figura anterior se puede observar el proceso que sufren las papas desde que entran en la planta hasta que se despacha el producto final. Además, están señalizados los residuos que se emiten en cada etapa del proceso.

Esta empresa produce diferentes variaciones de papa frita trabajando con las variedades *Asterix* y *Papa blanca*.

Las papas llegan a la planta y tras seleccionarlas, eliminando las que puedan estar en mal estado, se introducen en una máquina de abrasión cilíndrica que procede a pelarlas.

Esta máquina está dotada de un abrasivo tanto en el contorno como en la base de la misma y al conectarse gira sobre su eje vertical haciendo que las papas salten y se rocen con este, provocando que se pele la papa.

En una jornada semanal, donde se trabaja de lunes a viernes, se producen un total de 30kg de residuo sólido además de sólido líquido. En la figura se muestran en azul estos.

Tras pelarse las papas, la máquina evacúa los residuos generados, tanto sólidos como líquidos, los cuales van a parar a una estructura tamizada que separa en primera instancia los sólidos de los líquidos.

- Los residuos sólidos están constituidos por: cáscara de papa, brotes de papa, papas pequeñas que resultan descartadas, piedras y restos de papa que han sido retirados de forma manual. Estos se introducen en bolsas que permiten, tras colocarlas en pallets, que vayan filtrando el agua que pudiera quedar con estos. Posteriormente se desechan y no tienen ningún uso.

- Los líquidos, tras atravesar la estructura tamizada, terminan en una cámara decantadora. El residuo que llega a dicha cámara está formado por restos de cáscara, tierra, almidón de papa y agua. En esta se produce otro proceso de filtrado donde se retiran los desechos más sólidos que pudieran quedar ya que se requiere de un residuo líquido completamente que es retirado semanalmente por una empresa de limpieza de fosas, las cuales lo descargan en plantas de tratamiento.

Esta información clarifica el estado y la cantidad del residuo que se genera en una empresa pequeña de papas, además de confirmar el desaprovechamiento de los desechos ya que no se les da ninguna utilidad tras expulsarlos.

### 1.3.6 Almidón

Los alimentos con almidón son la principal fuente de carbohidratos en nuestra alimentación proporcionando gran parte de la energía que consume, gracias a las unidades de glucosa en que se hidroliza, al ser que los ingiere. Este se diferencia de los demás debido a que está constituido por un conjunto de gránulos o partículas densos e insolubles en agua fría (Gómez, 2013).

Se encuentra en diversos alimentos entre los que destacan los cereales; como el arroz, el trigo, el sorgo y el maíz y algunos tubérculos como el boniato y las papas (Gómez, 2013).

### 1.3.7 Propiedades estructurales del almidón

El almidón está constituido por dos estructuras moleculares: la amilosa y la amilopectina, ambas formadas por unidades de glucosa, siendo esta primera un polímero lineal y la segunda un polímero ramificado. La unión de ambas moléculas y su equilibrio es definitoria en la elaboración de películas bioplásticas e influye directamente en sus propiedades mecánicas y físicas (Domínguez y Jiménez, 2017).

Según un estudio realizado por Domínguez y Jiménez, un incremento de amilosa deriva en un aumento de resistencia mecánica mientras que la amilopectina no le confiere propiedades mecánicas considerables a la estructura (Domínguez y Jiménez, 2017).

A continuación, se muestra una tabla donde se compara los diferentes contenidos de ambas moléculas en diferentes alimentos.

**Tabla 01:** Tipos de almidón y su composición.

Tipo de almidón	% Amilosa	% Amilopectina
Maíz	25	75
Mandioca	17	83
Papa	20	80
Trigo	25	75
Arroz	19	81
Maíz de alta amilosa	55	45-10
Céreo	<1	>99

**Fuente:** Charro, 2015.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Tal y como puede observarse en la tabla anterior, el almidón de la papa cuenta con un 20% de amilosa, lo que le confiere mayor resistencia a la ruptura.

A ello se le suma lo indicado por Medina y Salas (2008), los cuales apuntan que los gránulos del almidón son más esféricos y de forma regular que otros almidones como el maíz, por lo que a pesar de que este tiene mayor porcentaje de amilosa, el almidón de papa puede formar estructuras más estables, lo cuál deriva en una mayor fuerza necesaria para quebrar las películas bioplásticas desarrolladas.

Además, estos autores añaden que dichos gránulos son de mayor tamaño y esto se refleja en mayor capacidad de absorción de agua y una mayor aceptación del plastificante y agua en la formación de películas (López-Enríquez et al., 2017).

La amilopectina a su vez es, en la mayoría de almidones, la molécula dominante en el proceso de cristalización, lo cual supone una de las propiedades más importantes del almidón natural: su semicristalinidad (García, 2015).

En cuanto a las propiedades significativas comercialmente, como pueden ser la resistencia mecánica y la flexibilidad, indicadas anteriormente, dependen de la naturaleza de la región cristalina y su resistencia, lo cual a su vez viene dado por la relación entre la amilosa y la amilopectina.

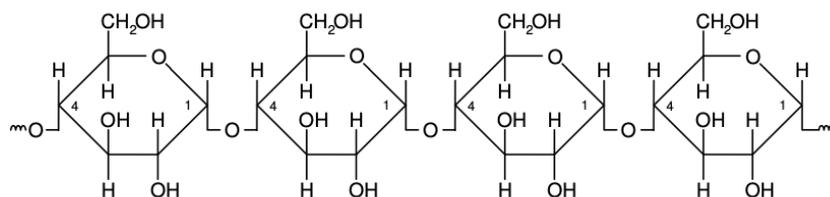
Esto depende del tipo de planta, de la distribución del peso molecular, el grado de ramificación y del proceso de conformación de cada componente del polímero (García, 2015).

#### *1.3.7.1 Amilosa*

La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa, unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos. A pesar de considerarse lineal, algunas moléculas presentan ramificaciones  $\alpha$ -1,6 (0,3 – 0,5 %). Las ramificaciones se separan por distancias considerables, lo que permite que la molécula actúe como un polímero lineal.

Los tipos de almidones donde la amilosa es abundante mantienen la forma al ser moldeados y gelifican, al contrario de aquellos en los que escasea que espesan, pero no gelifican. La amilosa puede llegar a constituir un cuarto del gránulo de almidón (Reimond, 2002).

**Figura 05:** Segmentos de una molécula de amilosa.



**Fuente:** Ruiz, 2006.

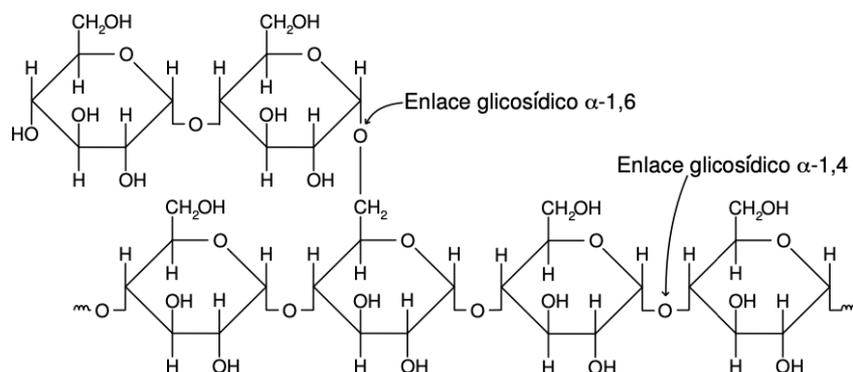
### 1.3.7.2 Amilopectina

Este polímero está formado por cadenas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1,4) glucosídicos. La amilosa tiene una estructura principalmente lineal, sin embargo, la amilopectina cuenta con ramificaciones  $\alpha$  (1,6) cada 15 o 30 unidades.

Su estructura es muy ramificada, por lo que es menos soluble en agua que la amilosa. Sus enlaces se sitúan entre el carbono 1 de la glucosa y el carbono 6 de la ramificación (Reimond, 2002).

Las moléculas de la amilopectina son de gran tamaño y su peso molecular está entre 1.000.000 g/mol y varios millones a diferencia de la amilosa, cuyas moléculas son mucho menores en consideración con las de la amilosa y cuentan con un peso molecular entre 50.000 y 200.000 g/mol. La susceptibilidad a retrogradación de este polímero es considerada baja respecto a la de la amilosa (Durán et al., 2005).

**Figura 06:** Segmentos de una molécula de amilopectina.



**Fuente:** Ruiz, 2006.

### 1.3.8 Almidón de papa

El almidón se encuentra en diversos alimentos entre los que destacan los cereales; como el arroz, el trigo, el sorgo y el maíz y algunos tubérculos como el boniato y la papa.

El almidón de papa, también conocido como fécula de papa o chuño, es el almidón que se extrae de la papa. Las células de las papas contienen los granos de almidón, los cuales son liberados tras el proceso de extracción. Este consiste en un polvo blanquecino e insípido que muestra una alta fuerza cohesionadora.

A continuación, se muestran diferentes aplicaciones industriales del almidón de papa:

**Tabla 02:** Aplicaciones industriales del almidón de papa.

<b>Industria</b>	<b>Aplicaciones</b>
Industria alimenticia	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fabricación de edulcorantes como la fructosa y la glucosa.</li><li>• Para la pastelería y repostería: sustitutivo de la harina de trigo.</li><li>• En helado, sopas, gelatinas y salsas: espesante y estabilizante.</li><li>• En empresas que fabrican productos horneados: aumentar esponjosidad y quebralidad en sus productos.</li><li>• Utilizado también en la elaboración de postres y licores</li></ul>
Industria farmacéutica	<ul style="list-style-type: none"><li>• El almidón de papa es utilizado para la producción de dextrosa, para mezclar comprimidos y pastillas y como relleno de tabletas y píldoras.</li></ul>
Industria textil	<ul style="list-style-type: none"><li>• Producción de gel o engrudo para almidonar las ropas en tintorerías además de para dar consistencia o rigidez a los tejidos.</li></ul>
Industria del papel y pulpa	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fabricación de engrudo, empleado para fabricar papeles como <i>papel crouché</i> o cartón.</li></ul>
Industria química	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conformación de colas o pegamentos o fabricación de espumas de poliuretano.</li></ul>
Plásticos biobasados	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elaboración de diferentes utensilios como cubiertos desechables, conformando un plástico biobasado cuya base es el almidón de papa.</li></ul>

**Fuente:** Quiminet, 2012.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

### 1.3.9 Extracción del almidón

Los métodos de extracción del almidón de diferentes fuentes naturales son diversos, sin embargo, los métodos de menor costo y mayor rendimiento son los que utilizan agua como solvente (Medina et al., 2010).

Los métodos de extracción de almidón son similares tanto cuando se llevan a cabo de forma artesanal como cuando son de mayor escala y más tecnificados, a pesar de que el volumen de la materia varíe (Medina et al., 2010).

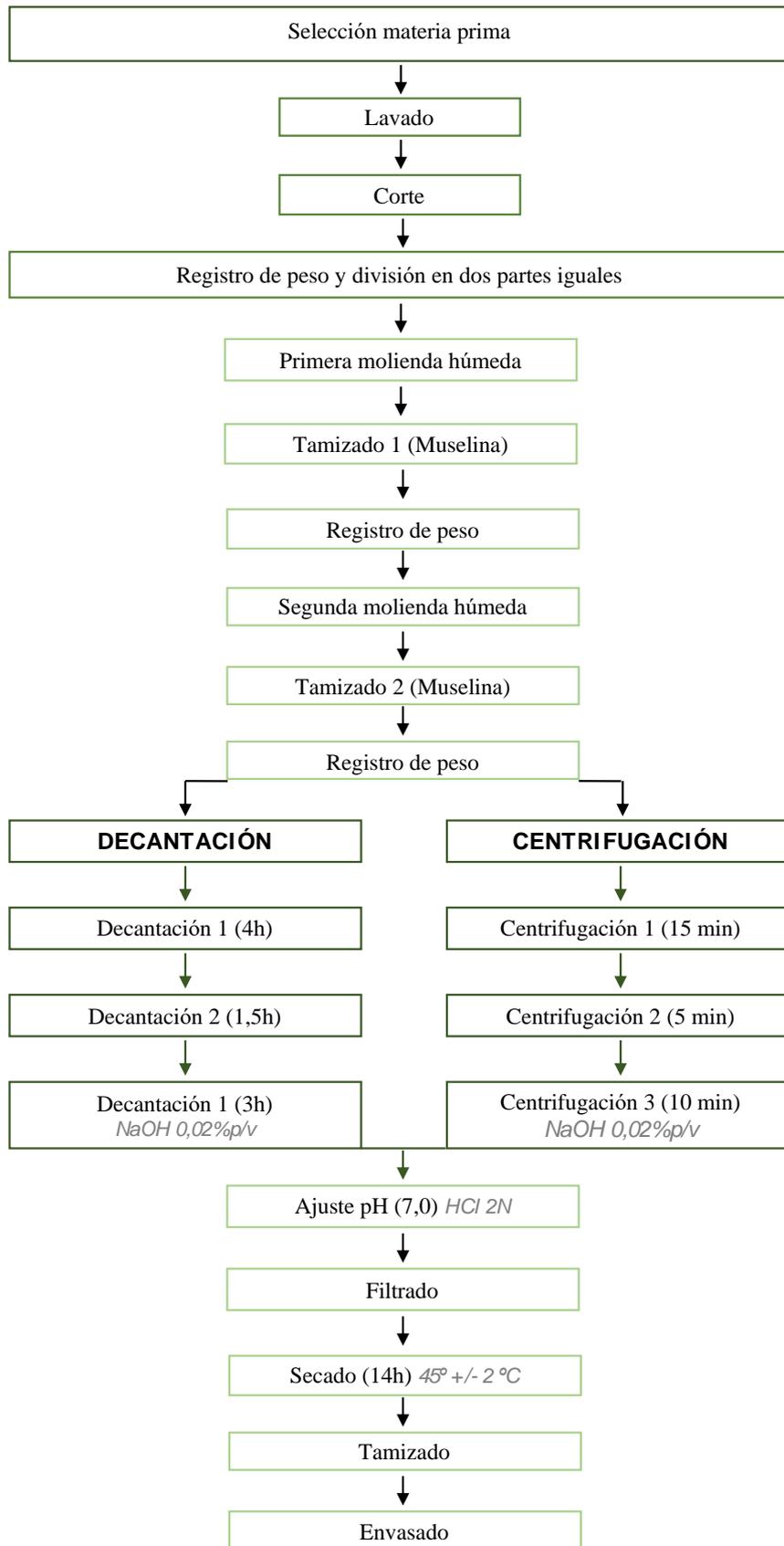
Los procesos más complejos son los relacionados con cereales y maíz, mientras que los de papas, yuca o plátano son bastante simples y pueden diferenciarse fundamentalmente en los de método húmedo y seco. A continuación, se desarrollan ambos procesos descritos por Alzate, Marín y Mazzeo (2008) modificados por Guadrón (2013).

- El método seco es utilizado en numerosas materias primas, a grandes rasgos implica moler el fruto una vez ha sido secado, lo cual tiene como resultado harina. Esta se tamiza y así se obtiene el almidón (Guadrón, 2013).
- El método húmedo comienza con la reducción de tamaño de la materia y retirar los posibles restos de mayor tamaño como la fibra y la proteína. A continuación, se somete a un proceso de decantación y se lava el producto que ha sedimentado para purificar el almidón y se somete a un último proceso de secado (Guadrón, 2013).

También se contemplan otros dos métodos; el método de extracción por decantación natural y de centrifugación. A continuación, se muestra una figura con cada flujo a grandes rasgos.

- El método por decantación natural está basado en los descritos por Ojeda (2008) con algunas modificaciones.
- El método de centrifugación se basa en los descritos por Lisinska y Leszczynski (1989), Araujo et al. (2004) y Ojeda (2008), teniendo en incluyendo algunas modificaciones.

**Figura 07:** Línea de flujo para el proceso de extracción del almidón.



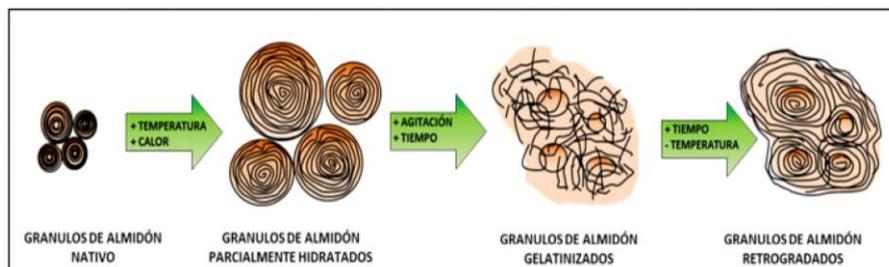
**Fuente:** Melian, 2010.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

### 1.3.10 Gelatinización y retrogradación del almidón

Al someter al almidón a un aumento de temperatura con su posterior enfriamiento se distinguen dos etapas: la gelatinización y retrogradación.

**Figura 08:** Transformación estructural del almidón.



**Fuente:** Villarroel et al., 2018.

#### 1.3.10.1 Gelatinización

Este proceso consiste en la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización (Ruiz, 2006).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a su estructura aislante sistematizada. Estos se calientan a una temperatura de 60°C a 70°C en un medio acuoso en donde comienza un proceso de absorción de agua en las regiones amorfas escasamente organizadas y asequibles, lo que produce un hinchamiento de los gránulos (Guamán, 2019). Este hinchamiento es reversible hasta cierta temperatura donde las propiedades ópticas del gránulo se pierden y la estructura del gránulo se ve afectada (Charro, 2015).

Una vez el agua penetra en sus regiones, va desalojando las cadenas de almidón a medida que se eleva la temperatura desde la superficie. Se produce una disminución de cristalinidad debido a la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación que se produce por el hinchamiento, lo que conlleva el desenrollado de las dobles hélices. (Ruiz, 2006).

Esto se desarrolla hasta que la estructura es fragmentada casi completamente, proceso en el cual la amilosa y amilopectina se distribuyen en la matriz de la disolución (Guamán, 2019).

La intensidad de este proceso depende del origen del almidón natural, del contenido de humedad y de condiciones como el pH, y la presencia de sólidos entre otras condiciones experimentales (Charro, 2015).

El almidón de papa absorbe más agua y su temperatura de gelatinización es de las más bajas. Esto se debe a los grupos éster-fosfato presentes en el gránulo, los cuales debilitan los enlaces provocando mayor rapidez de espesamiento al aumentar su temperatura.

El máximo pico de viscosidad cae a gran velocidad una vez se mantiene la temperatura y la solución muestra poca tendencia a la retrogradación durante el enfriamiento, proceso que se explica a continuación (Aristizábal y Sánchez, 2007).

A continuación, se muestra una tabla con diferentes características de almidones naturales de interés.

**Tabla 03:** Características de los gránulos de almidón de diferentes fuentes.

Almidón	Morfología	Diámetro (µm)	Contenido de amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Temperatura de gelificación (°C)	Propiedades de cocción
Maíz	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80	Gel opaco
Yuca	Ovalado truncado	4-35	17	62-73	63	Claro, cohesivo, tendencia a gelificar
Papa	Ovalado esférico	5-100	20	59-68	64	Claro, cohesivo, tendencia a gelificar
Trigo	Redondo lenticular	1-45	25	58-64	77	Gel opaco
Arroz	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81	Gel opaco

**Fuente:** Aristizábal y Sánchez, 2007.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En definitiva, la gelatinización consiste en la suspensión acuosa de los gránulos que produce su hinchamiento al aumentar progresivamente la temperatura. Esto tiene como consecuencia la pérdida de las propiedades que le confieren su estructura semicristalina y a una temperatura concreta, conocida como temperatura de gelatinización, forman un gel (Ruiz, 2006).

### *1.3.10.2 Retrogradación*

Este proceso consiste en la insolubilización y la precipitación voluntaria de las moléculas de amilosa principalmente. Esto se debe a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos (Badui, 2006). Cuando el almidón se enfría se produce la cristalinización de las cadenas de los polímeros que han sido agregados en el gel. Este suceso se presenta en tres estados diferentes:

- Dilatación de las cadenas debido a la rotura de los enlaces que mantienen su estructura helicoidal.
- Pérdida del límite de agua, lo que conlleva una reorientación de las moléculas.
- Formación de una estructura cristalina debido a la creación de enlaces de hidrógeno entre moléculas adyacentes (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Esto se puede desarrollar de diversas formas según la concentración y la temperatura del sistema.

Si se eleva la temperatura rápidamente a una solución concentrada de amilosa y se desciende hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversibles. Sin embargo, si la solución es diluida, está será opaca y precipitará cuando se deje reposar y enfriar lentamente (Badui, 2006). Durante esta transformación se produce un fenómeno conocido como sinéresis que se da cuando la cristalización endurece el gel y se expulsa parte del disolvente, lo que produce una caída en la viscosidad (Aristizábal y Sánchez, 2007).

El grado de retrogradación depende de diferentes variables como la concentración de amilosa y amilopectina, tamaño molecular, temperatura, pH y los diferentes reactivos introducidos en la solución (Aristizábal y Sánchez, 2007).

El contenido de amilosa define la retrogradación del almidón, la amilopectina por su lado está más limitada debido a que su estructura ramificada impide la formación de puentes de hidrógeno entre cadenas (Charro, 2015).

### *1.3.11 Plásticos biobasados*

La asociación europea de bioplásticos indica que un material plástico puede definirse como bioplástico si es de base biológica, es biodegradable o presenta ambas propiedades.

Los plásticos biobasados son aquellos que cumplen la primera condición y pueden cumplir o no la segunda.

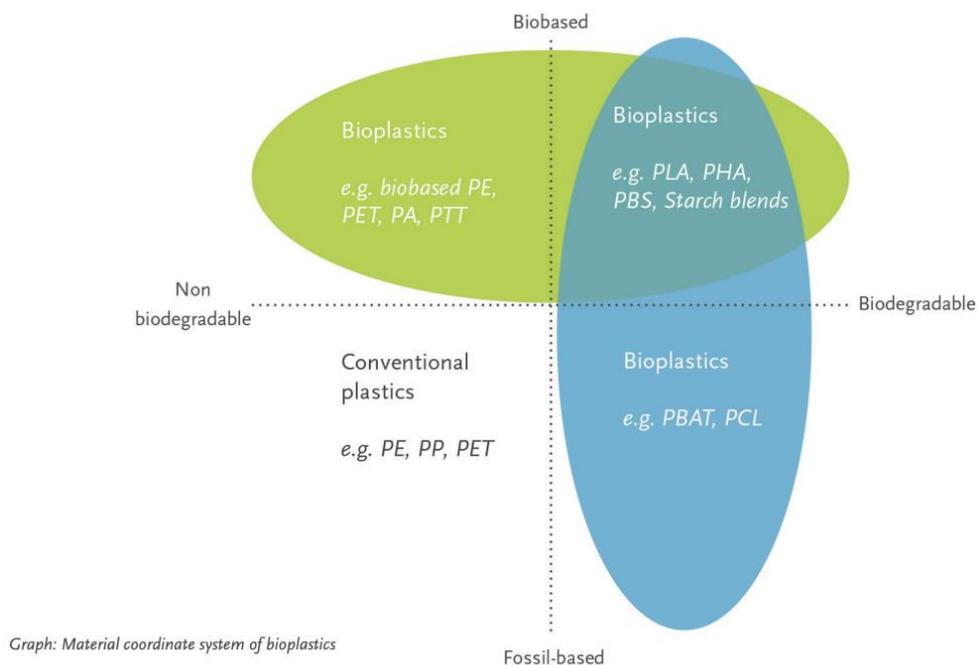
Se consideran entonces que los bioplásticos son polímeros biodegradables o biopolímeros ya que pueden provenir de fuentes naturales, como almidones o caña de azúcar, o de fuentes no renovables como el petróleo, como los plásticos tradicionales (European Bioplastics, 2018).

La biodegradabilidad del material no depende de la base del material, sino que se vincula a su estructura química, es decir, pueden darse plásticos de base fósil que sean biodegradables y otros biobasados y que no cumplan esta condición. Este es el caso por ejemplo del “polietileno verde”, conformado a partir del etileno de la caña de azúcar que a pesar de tener una base biológica no se degrada (European Bioplastics, 2018).

La asociación europea de bioplásticos define tres grupos de materiales bioplásticos:

- Plásticos biobasados, o parcialmente biobasados, no degradables y plásticos biobasados de rendimiento técnico.
- Plásticos que son biobasados y biodegradables.
- Plásticos basados en fuentes fósiles y son biodegradables.

**Figura 09:** Clasificación de plásticos convencionales y biobasados.



**Fuente:** European Bioplastics, 2018.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## **1.4 Marco conceptual impresión 3D**

### *1.4.1 Impresión 3D*

La impresión 3D es una práctica controlada por ordenador que consiste en la construcción de un modelo capa a capa gracias a la adición de un material fluido.

Se emplean diferentes técnicas para llevarlo a cabo, sin embargo, hay tres elementos básicos implicados:

- Diseño digital. La impresora reproduce el patrón creado por un programa de modelado 3D, denominados CAD (Computer Aided Design). Este programa crea cientos de capas horizontales a partir de un modelo 3D existente, lo que define el proceso que seguirá la máquina durante la impresión.
- Tecnología de impresión 3D. Hay diferentes tecnologías reconocidas para el proceso de impresión 3D, en este caso se considerará la impresión por extrusión. A pesar de haber diferentes procesos posibles, todos tienen en común la adición de material por capas.
- Material empleado. Casi cualquier material puede ser utilizado en procesos de impresión 3D con diferentes tecnologías, desde metales hasta comida. Se trata de un material que permita cierta fluidez para ser extruido y superpuesto en numerosas capas. Más adelante se especificarán características de materiales de interés empleados.

La impresión 3D supuso un antes y un después en la industria, hasta tal punto que dicha tecnología es considerada posible detonante de la tercera revolución industrial debido a que supone un gran impacto tecnológico, económico y social.

Esta tecnología produce numerosos cambios en la industria:

- Permite localizar numerosos puntos de producción en los puntos donde hay más demanda, evitando tener un gran centro de producción que distribuye dichos productos, ahorrando así en cuanto a los gastos producidos por dichos transportes.
- La producción es más eficiente ya que solo se produce lo que se necesita y no se desperdicia material. Debido a esta eficiencia se reduce el coste de producción.

Fuente: Van Wijk et al., 2015.

En cuanto a las ventajas que este proceso presenta para el diseño de productos, se puede destacar la velocidad de prototipado. Se relaciona este término ya que las máquinas pueden producir en pocas horas un modelo exacto al diseñado. Este prototipo puede servir para evaluar un producto antes de comenzar su producción en masa. Esta tecnología permite reproducirlo con exactitud y realizar ajustes precisos logrando así menor cantidad de defectos en el producto final, lo que reduce los costos y todo ello en un intervalo de tiempo cada vez más corto (Impresioni3D, 2018).

En definitiva, la impresión 3D ha supuesto un impacto indiscutible en la producción ya que implica reducción de costos, mayor precisión, versatilidad y la velocidad del proceso.

#### *1.4.2 Características de materiales utilizados en impresión 3D*

Debido a que se desea desarrollar un material para impresión 3D se analizarán las características comunes de estos para considerarlas durante todo el proceso.

Entre los materiales más utilizados en esta tecnología están:

- ABS, plástico más utilizado en impresión 3D. Es resistente, reutilizable y se puede soldar. No es un material biodegradable y se contrae cuando entra en contacto con el aire, por ello la base sobre la que se realiza el proceso debe calentarse.
- ASA, tiene características similares al ABS, pero cuenta con mayor resistencia a los rayos UV. Es recomendable de igual manera calentar la base de impresión.
- PET, es un material bastante rígido, recomendable en productos que entren en contacto con alimentos, y tiene buena resistencia química y es 100% reciclable.
- PETG, este material es una combinación de simplicidad de impresión con resistencia final, puede ser 100% reciclado.
- PC, buena resistencia a temperatura, sin embargo, resulta propenso a la absorción de humedad del aire.
- PP, resistencia a la abrasión y capacidad de absorber golpes, cuenta con cierta rigidez y elasticidad. No tiene gran resistencia a bajas temperaturas y es sensible a rayos UV los cuales pueden producir una expansión.

Fuente: 3Dnatives, 2020.

El material a desarrollar está basado en almidón de papa, por ello se analizará el PLA debido a su similitud ya que este está basado en el almidón extraído del maíz.

- Este termoplástico conocido como ácido poliláctico es un material biodegradable, se considera un material fácil de imprimir, pero se reduce ligeramente tras la impresión (3Dnatives, 2020).
- Cuenta con una alta velocidad de enfriamiento y solidificación por lo que debe cuidarse al trabajar con él (3Dnatives, 2020).
- Es inodoro, de un color claro y brillante (ABAX3D, 2020) con acabados translúcidos u opacos dependiendo del fabricante (Impresoras3D, 2018).
- Es altamente resistente ante la grasa y estable a la luz UV (ABAX3D, 2020), sin embargo, los modelos resultantes pueden deteriorarse cuando entran en contacto directo con el agua (3Dnatives, 2020).

- Puede ser elástico, sin embargo, puede modificarse logrando mayor rigidez (ABAX3D, 2020)

Las características enumeradas serán tenidas en cuenta debido a que el material resultante de este estudio podrá presentarlas debido a su similitud con la composición del PLA.

### 1.4.3 Impresión 3D a partir de materiales biobasados

La impresión 3D supuso un cambio en el mundo de diseño, sin embargo, esta también ha ido evolucionado, no solo en las diferentes tecnologías implicadas, sino también en los materiales empleados para ello. Actualmente casi todo material que pueda hacerse fluir puede ser utilizado para impresión 3D.

La impresión 3D se ha introducido incluso en la alimentación. Se han estudiado diferentes aplicaciones de esta tecnología en el mundo de la alimentación, Iman Dankar (2018) estudió las propiedades de la impresión de alimentos con base de papa, sin embargo, también se ha podido imprimir tomando como material “frosting”, queso, hummus y chocolate.

Además, se consideran numerosos materiales biobasados para su implementación en impresión 3D (como:

**Tabla 04:** Materiales biobasados para impresión 3D.

<b>Materiales biobasados para impresión 3D</b>
Nylon basado en aceite vegetal procedente de semillas de ricino
TPE, TPC termoplásticos formados a partir de aceite de colza.
PLA y termoplásticos basados en el almidón de diferentes orígenes.
Plásticos basados en talos de trigo o arroz en adición con plásticos y aditivos.
Filamentos a partir de bambú molido.
Filamentos de base de tiza con aglutinante.
Filamentos con un 40% de madera reciclada con aglutinante.

**Fuente:** Van Wijk et al., 2015.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## 1.5 Antecedentes de investigación

Se disponen a continuación diferentes artículos, tesis y proyectos relacionados con el desarrollo de un material basado en la papa, tanto en el fruto como en su almidón o cáscara; diferentes aplicaciones de materiales desarrollados a partir de esta y estudio de implementación 3D de materiales desarrollados a partir del almidón de papa.

### *Plásticos biobasados en almidón*

- **Elaboración de plástico biodegradable utilizando fécula de papa** (Alarcón et al., 2013).

Este proyecto universitario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desarrolla una receta para el desarrollo de un plástico basado en el almidón de la papa, sin piel, con la consideración de su biodegradabilidad.

- **Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial** (Guamán, 2019).

Este documento es una tesis de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En este Proyecto se desarrollaron láminas de plástico basado en el almidón de la cáscara de papa. Se realizó un proceso de caracterización del almidón y se sometió el material a un análisis sensorial para determinar la formulación óptima.

Se comparó además el resultado del plástico con almidón natural y comercial y se evaluaron sus propiedades físicas.

Finalmente se propusieron diferentes aplicaciones para el material desarrollado.

- **Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata** (Charro, 2015).

Este proyecto es una tesis de la Universidad Central de Ecuador cuyo objetivo es desarrollar un plástico a partir del almidón presente en la papa y además considerar su biodegradabilidad.

En este proyecto se realiza un estudio sobre el contexto de la papa y las características del almidón, así como de diferentes reactivos con potencial para la mezcla.

Se analiza el proceso de extracción, de elaboración del material y a las películas de plástico se les realizan diferentes ensayos de caracterización.

## *Aplicaciones de materiales basados en residuos de papas*

- **The Urban Bio-Loop: Growing, Making and Regenerating** (Arup, 2017).

Este es un estudio realizado por la empresa de construcción Arup que presenta una posible aplicación de residuos orgánicos como plátanos, cacahuetes, arroz y papas en el desarrollo de materiales de construcción sostenibles.

**Imagen 01:** Material Urban Bio-Loop.

Apunta diferentes aplicaciones en el ámbito de la construcción de residuos de cacahuetes, arroz, plátano y papa.

Define la posibilidad de limpiar, prensar y secar cáscaras de papa para obtener un material repelente al agua, con alta resistencia al fuego, ligero y absorbente acústico.

**Fuente:** (Arup, 2017).



- **Potato Plastic** (Törnqvist, 2018).

Este proyecto fue finalista en el Premio James Dyson en la convocatoria llamada “Diseñar algo que resuelva un problema”.

Este diseñador sueco de la Universidad de Lund desarrolló este material basado en fécula de papa biodegradable en dos meses, característica idónea para su aplicación en productos de uso único para la industria de la comida rápida con el objetivo de crear una alternativa al plástico tradicional.

**Fuente:** (Törnqvist, 2018).

**Imagen 02:** Potato Plastic.



- **Estudiantes desarrollan bioplástico con cáscara de papa** (Alcántara, 2018).

Este artículo trata sobre un plástico basado en cáscara de papa desarrollado por tres estudiantes del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México (Sánchez, Solís y García).

Este proyecto tenía como objetivo ofrecer una alternativa a la alta demanda de polímeros sintéticos y que esta fuera basada en residuos, eliminando así la problemática de su elevado volumen.

Se desarrolló el material a partir de almidón de la cáscara y fécula de maíz y se obtuvieron prototipos con gran resistencia a los líquidos con alta temperatura.

### *Impresión 3D con materiales basados en papa*

- **Desarrollo de bioplásticos a partir de subproductos agroalimentarios con aplicaciones en envases y matrices de difusión** (Gómez, 2013).

Esta es una tesis de la Universidad de Huelva que estudia la posibilidad de desarrollar plásticos biobasados a partir de productos alimentarios. Se realizó en primer lugar un estudio de diferentes proteínas con el objetivo de utilizarlas para el desarrollo de plásticos. Se realizó una caracterización reológica, térmica y estructural de los plásticos biobasados, así como se definió el método de trabajo y elaboración de estos.

Se estudió además la posibilidad de extruir el material desarrollado a base de papa.

- **Study and Characterization of Microstructural and Physio-chemical properties of potato products for 3D Food Printing** (Dankar, 2018).

Esta es una tesis desarrollada en la Universitat Politecnica de Catalunya en colaboración con Lebanese University. Este proyecto estudia la posibilidad de imprimir comida con una impresora 3D.

Para ello estudia los materiales imprimibles 3D y los retos e inconvenientes del proceso de impresión 3D analizando diferentes parámetros como la velocidad de impresión, la presión ejercida, el tamaño del hilo extruido o las distancias entre la base de impresión y la boca de esta.

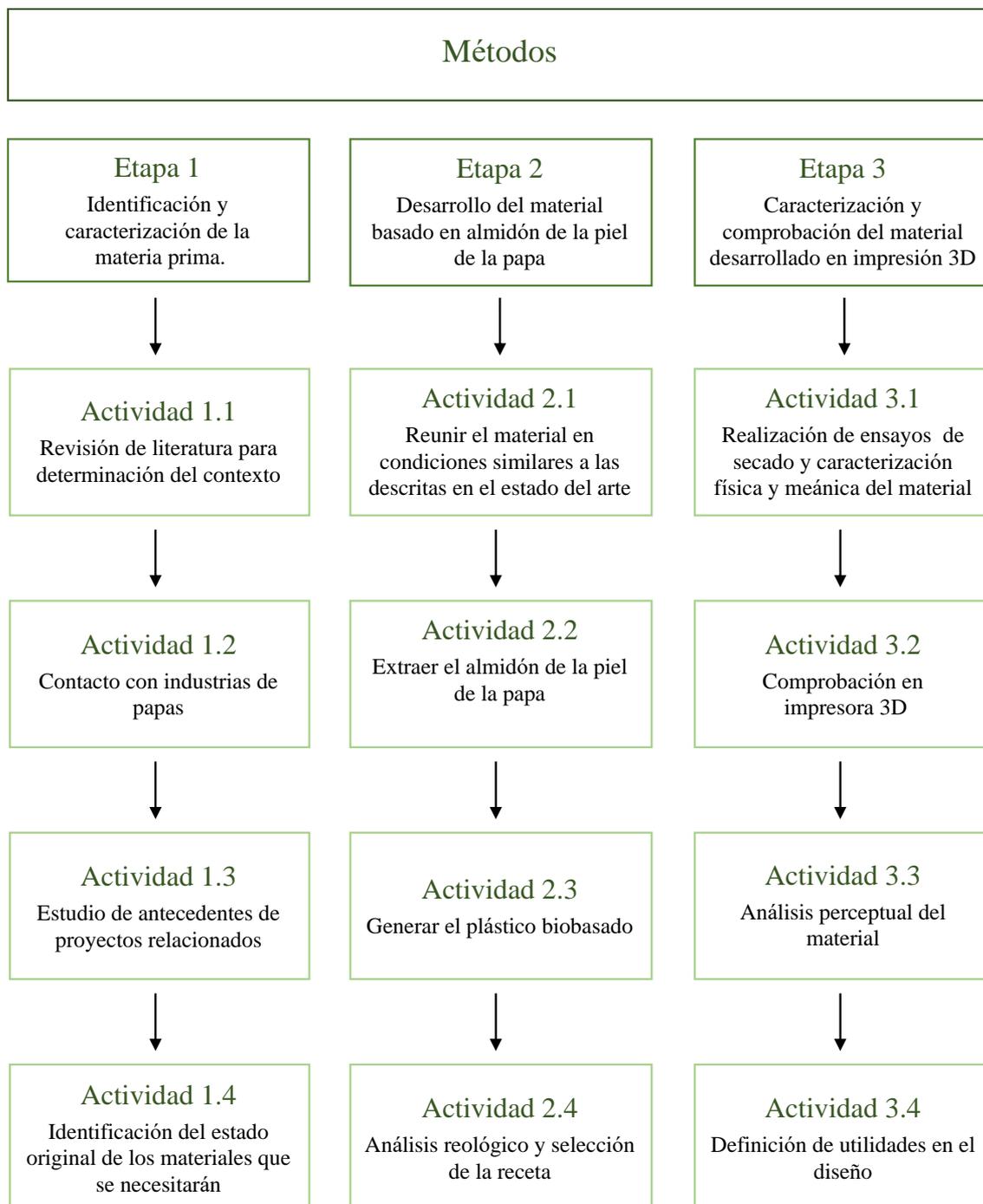
En los anteriores proyectos y tesis se desarrollan diferentes materiales a partir de la papa, utilizando tanto la piel como el almidón de esta y de su cáscara.

Esta revisión orientó la decisión de utilización del almidón de la papa como materia prima para el desarrollo del material objeto de este proyecto.

## 2. METODOLOGÍA

En la figura 10 se muestra un cuadro resumen de la metodología seguida. Tras identificar y caracterizar la materia prima, es decir, la cáscara de papa, se desarrollarán las dos últimas etapas de desarrollo del material basado en almidón de la piel de papa y su caracterización y comprobación en impresión 3D.

**Figura 10:** Introducción a los métodos.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## **2.1 Lugar de realización**

Esta investigación se debería haber llevado a cabo en el Laboratorio de Materiales Biobasados, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, sin embargo, debido a la situación provocada por el COVID-19 se readaptó y fue desarrollada en el domicilio, con limitadas visitas al laboratorio mencionado.

## **2.2 Metodología experimental**

### *2.2.1 Selección de la muestra y estado del residuo*

La materia prima utilizada es el almidón de cáscaras de papa residuales.

La empresa con la que se contactó para obtener información sobre el estado de las cáscaras de papa fue “Primor”, una empresa considerada “mediana” originaria de Rancagua, que desde 1974 producen papas fritas artesanales y caseras.

No fue posible acceder a las instalaciones de la empresa “Primor”, por lo que se comenzó a trabajar con el residuo de cáscaras de papa producido por el consumo doméstico.

Gracias a la apertura de negocios tras la salida de la cuarentena se realizó un seguimiento de los establecimientos cercanos que pudieran cocinar papas para estudiar en cada caso la posibilidad de obtención de residuo y finalmente se trabajó con las cáscaras producidas por el restaurante “Gennaro´s”

Debido a la necesidad de grandes cantidades de cáscaras de papa para obtener almidón, se decidió estudiar la posibilidad de someterlas a un proceso de secado y almacenarlas en ese estado para evitar la aparición de moho.

Se compararon muestras de estas frescas y desecadas.

La muestra de residuo fresco fue recogido y almacenado refrigerado durante un tiempo máximo de 48h ya que a partir de ese periodo de tiempo se observó que estas comenzaban a descomponerse.

La muestra desecada se obtuvo sometiendo a las cáscaras recogidas a 10 horas en el horno a 50°. Se mantuvo la temperatura baja para tratar de evaporar el agua contenida sin quemarlas, ya que esto afectaría a la composición de estas.

Para la comparación de la cantidad de almidón obtenido, se comenzó con la misma cantidad de cáscaras frescas en ambos casos de 20g, sin embargo, se obtuvo 1.7g de cáscara fresca tras el desecado.

A continuación, se sometieron ambas muestras a un proceso de extracción de almidón para comparar la cantidad de almidón obtenido en cada caso, con el objetivo de definir el estado óptimo del residuo para la obtención eficiente de almidón.

A continuación, se exponen los materiales y equipos que fueron utilizados durante el desarrollo del proceso de extracción y de desarrollo del material:

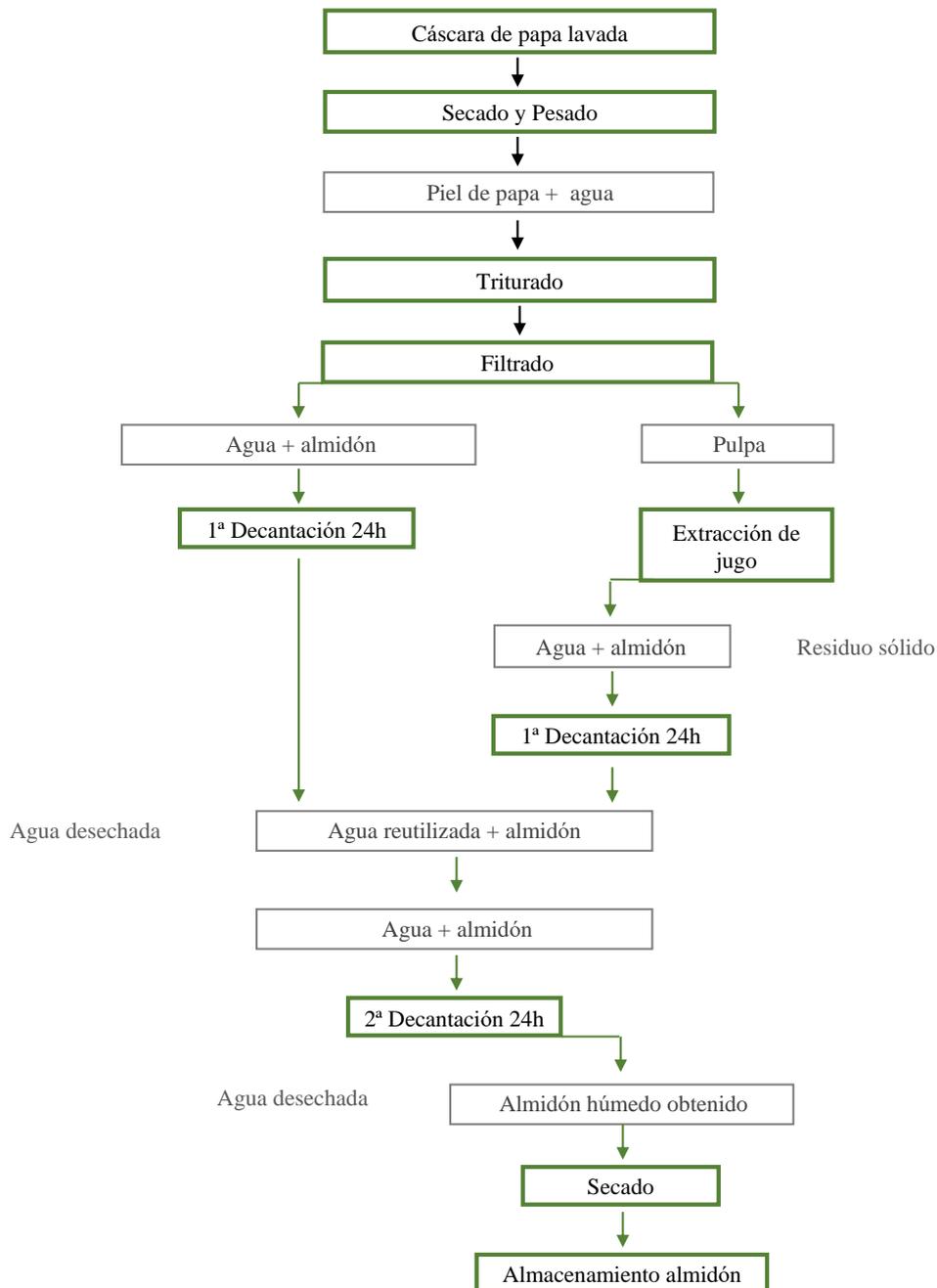
- Los materiales requeridos son: vaso de precipitado 600 ml, varilla de agitación, colador, recipientes plásticos herméticos con tapa, bandejas y recipientes contenedores, papel aluminio, bolsas plásticas de congelados y una cacerola.
- Los equipos necesarios son: licuadora, extractor de jugo, balanza analítica, calefactor, horno y cocina de gas.

### 2.2.2 Extracción del almidón a partir de la cáscara de la papa

Para extraer el almidón de las cáscaras de papas se siguió el método de extracción por decantación natural definido por Ojeda (2008) con algunas variaciones basadas en los métodos descritos por Melian (2010), Moreno et al. (2017) y Guamán (2019).

Se muestra a continuación el proceso llevado a cabo para la extracción junto con la materia que se obtuvo en cada paso además de los residuos generados.

**Figura 11:** Línea de flujo para el proceso de extracción.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

- **Cáscara de papa lavada.** Tanto cuando se utilizaron cáscaras de uso doméstico como cuando fueron recogidas en el restaurante el estado de la cáscara obtenida fue la misma. Se lavaron las papas antes y durante el pelado de estas obteniendo así la cáscara lavada sin restos de tierra, lo que podría contaminar el almidón obtenido.
- **Secado y pesado.** Se almacenan frescas durante un periodo máximo de 48h refrigeradas con el objetivo de eliminar el agua que pudiera haber quedado del lavado y poder pesarlas para realizar un seguimiento de la cáscara utilizada en cada extracción y el almidón obtenido.
- **Triturado.** Se introducen las cáscaras en una licuadora junto con agua para triturarlas y obtener una pulpa con abundante agua y restos de cáscara no muy pequeños para poder filtrarlos.
- **Filtrado.** La pulpa obtenida de la licuadora se filtra a través de un cernidor metálico para poder separar el agua con almidón de la pulpa. Sin embargo, en la pulpa resultante de este filtrado queda todavía bastante agua.
- **Extracción de jugo.** La pulpa que se obtuvo del filtrado anterior queda con bastante agua y almidón como para desecharla, para no seguir lavándola y por lo tanto utilizando más agua, se introduce en un extractor de jugo con el fin de obtener la mayor cantidad de líquido de esta.
- **1ª Decantación.** El líquido obtenido tanto del filtrado como de la extracción de jugo es introducido en recipientes plásticos con tapas herméticas y se deposita en el refrigerador dejándolo decantar por 24h.
- **2ª Decantación.** Para obtener un almidón más puro y poder separarlo con mayor facilidad de los restos de cáscara que pudieran haberse mezclado se elimina el agua sobrante, retirando primero la espuma de la superficie, y se introduce todo el almidón decantado de cada recipiente en uno solo repitiendo el proceso de decantación anterior: 24h en el refrigerador.
- **Secado.** Se dispone papel de plata sobre una bandeja de horno con el fin de generar más calor y se deposita el almidón decantado. Se deja reposar al sol durante algunas horas, dependiendo de la cantidad de almidón.
- **Almacenamiento.** Tras haberse evaporado el agua tras exponerlo al sol, se tamiza la harina resultante mediante un cernidor obteniendo así una más fina.

### 2.2.3 Búsqueda de recetas y elaboración del plástico biobasado

Este proyecto consiste en el desarrollo de un polímero biobasado a partir del almidón contenido en los residuos de cáscara de papa para su implementación en la impresión 3D.

Para ello, se investigaron posibles recetas existentes con esta materia prima con el objetivo de comparar los resultados y obtener la más adecuada.

Se seleccionaron 3 recetas teniendo en cuenta los resultados definidos por sus desarrolladores, y tras transformar las medidas en porcentajes resultaron las siguientes:

**Tabla 05:** Proporciones de los diferentes reactivos de las recetas encontradas.

Recetas	Almidón de papa	Agua	Vinagre	Glicerina	Bicarbonato de sodio	Fuente
PA	6,9%	62%	13,8%	13,8%	3,5%	Instituto Mexicano Madero
PB1	27%	54%	13,5%	5,5%	×	Johan Viladrich (2014)
PB2	17,7%	70,6%	5,85%	5,85%	×	Miriam Ribul (2014)

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Se les atribuyeron códigos en relación a su composición haciendo referencia la letra “P” a papa, y se diferenciaron las composiciones de los reactivos de cada una con la letra “A” la que contiene bicarbonato y la letra “B” para la que tienen mismos reactivos, pero diferente proporción.

El método de preparación de la mezcla y elaboración del plástico biobasado a partir de las recetas detalladas anteriormente se basó en el descrito por Viladrich (2014) y Pistofidou (2017) con algunas variaciones concretas. El proceso es el descrito a continuación:

- Se dispondrán todos los reactivos en el recipiente donde se calentará para evitar el desperdicio de estos.
- Se añaden el agua, vinagre y glicerina en ese orden, removiendo después de cada adición hasta homogeneizar la mezcla.
- Tras mezclar bien los anteriores reactivos se añade el bicarbonato de sodio (paso únicamente necesario en la receta que cuenta con este) y se vuelve a mezclar.

- Una vez que se pesa el almidón que se desea añadir, se incorpora tamizándolo a través de un cernidor para evitar grumos.
- Se remueve bien toda la mezcla hasta que se consiga homogeneizarla lo máximo posible, teniendo en cuenta que el almidón tiene algunos restos de cáscara que no se disolverán.
- Se pone el recipiente en el fuego, en este caso una cacerola en una cocina de gas a la mínima temperatura y se mantiene removiendo durante todo el cocinado.
- Una vez que se obtiene el grado de fluidez deseado se retira del fuego, esta fase durará algunos minutos. Tras retirarlo del fuego se trabaja con el material fluido obtenido teniendo en cuenta que se seguirá espesando a medida que se enfríe.

#### 2.2.4 Análisis reológico del material desarrollado y selección de la receta

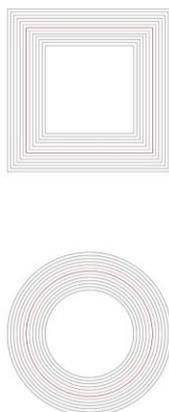
Este proyecto consiste en desarrollar un material basado en almidón de papa para su implementación en la impresión 3D, por ello uno de las variables más importantes a estudiar en este es su fluidez. Este factor es determinante para la elección de la receta a partir de las descritas anteriormente.

Para la realización de este ensayo se creó una plantilla con una forma cuadrada de 50 mm x 50 mm y una circular de 50 mm de diámetro y se imprimió para cada ensayo.

Para hacer fluir el material se emplearon bolsas plásticas de congelado. Se les hizo un corte en la punta de 3 mm, 5 mm y 10 mm de diámetro para estudiar cómo se comportan las capas variando su tamaño.

**Imagen 03:** Plantilla análisis fluidez.

Resultados experimentación fluidez  
Mezcla:  
Boca: 5mm



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 04:** Utensilio para hacer fluir el material.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Contando con estos materiales se realizó el análisis reológico analizando diferentes variables para la correcta selección de la receta para este proyecto.

Se hizo fluir cada receta por cada una de los tamaños de las mangas replicando en cada caso la plantilla completa, es decir, la forma cuadrada y la circular realizando solo una capa.

Para la comparación de resultados de cada receta se realizó una tabla, expuesta a continuación, donde se midieron diferentes factores tanto de forma cuantitativa como cualitativa.

**Tabla 06:** Muestra de la tabla del análisis reológico de las recetas.

Receta	Tiempo de cocinado (min)	Mezclabilidad (√-√√√√√)	Consistencia (*-*-*-**)	Fluidez (★ - ★★★★★)	Ángulos (Δ - ΔΔΔΔΔ)	Figuras circulares (○-○○○○○)	Resultado (Fotografía)
PA				3 mm			
				5 mm			
				10 mm			
PB1				3 mm			
				5 mm			
				10 mm			
PB2				3 mm			
				5 mm			
				10 mm			

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Para la comparación de las recetas se tuvieron en cuenta los diferentes factores que se muestran en la tabla y, dado que no todos son definibles cuantitativamente, se ha llevado a cabo un sistema de medida por medio de una escala simbólica que permitió considerar cada aspecto por comparación.

En este estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables cuantitativas y cualitativas y sus respectivas escalas de medida:

- Tiempo de cocinado: tiempo medido en minutos desde que se pone la mezcla en el fuego hasta que se gelifica.
- Mezclabilidad: determinar de forma cualitativa la apariencia de la mezclabilidad de la receta, siendo un símbolo el estado más heterogéneo y cinco el más homogéneo.
- Consistencia: definir cualitativamente la consistencia aparente de las mezclas considerando un símbolo el estado más líquido y cinco el más gelificado.
- Fluidez: considerar de forma cualitativa la calidad de la fluidez del material por cada manga. Un símbolo es considerado el estado de fluidez de mayor dificultad y cinco el de mayor fluidez.
- Ángulos: capacidad cualitativa de cada mezcla para replicar ángulos rectos, en el caso de la figura cuadrada de la plantilla, siendo un símbolo el peor resultado de replicación de ángulos y cinco el mejor.
- Figuras circulares: capacidad cualitativa de las mezclas para poder reproducir la forma circular de la plantilla, considerando un símbolo el peor resultado de reproducción de formas circulares y cinco el mejor.
- Resultado: muestra fotográfica de cada resultado del análisis.

Una vez recogidos los resultados en la anterior tabla comparativa se analizaron, junto con algunas observaciones, y se seleccionó la receta que dio mejor resultado para utilizarla en este proyecto.

### *2.2.5 Análisis de secado de las muestras*

El material desarrollado contiene un 70,6% de agua antes de ser cocinado y el objetivo de secar las muestras basadas en este es eliminar toda esa agua, lo cual significa eliminar una gran parte de la muestra para lograr su curado.

Durante este proceso las muestras sufrieron grandes cambios morfológicos dependiendo de la fuente de calor a la que se sometieron, por ello se consideró necesario realizar un seguimiento de esta fase de curado para poder definir la manera óptima de secarlo y conseguir los mejores resultados posibles.

En primer lugar, se estudió la base sobre la que se elevaba la estructura, considerando la posibilidad de realizarlo sobre la plantilla de papel, desarrollada en el análisis anterior, o directamente o sobre una superficie plástica transparente dispuesta encima de esta.

Este primer análisis consistió en realizar muestras de base cuadrada de 50mm x 50mm en cada una de las opciones, con una boca de salida del material de 5mm de diámetro y un total de 4 capas.

Se dejó secar sometiéndolo al calor solar para comprobar cómo se comportaba el material con cada superficie con el fin de detectar a simple vista y de forma cualitativa la mejor opción.

Una vez definida la superficie óptima para realizar el seguimiento de secado se realizaron ensayos de con cuatro fuentes de calor diferentes con muestras de las mismas características.

Tras analizar los resultados de secado por exposición solar se analizaron otros métodos de secado, se identificaron las posibilidades de acuerdo a los recursos existentes y se seleccionaron cuatro posibilidades:

- **Secado por exposición solar.** La muestra fue expuesta al calor solar sobre la misma plantilla donde fue dispuesta con el fin de cuantificar la contracción del material.

Este ensayo se realizó el día 5 de octubre en la Región Metropolitana de Chile, contando con una temperatura máxima de 23°C.

- **Secado sin una fuente de calor directa, secado al aire libre.** Con el fin de observar si la velocidad de evaporación de agua influye directamente en el resultado de las estructuras se dejaron secar sin una fuente de calor directa, es decir, se dejaron secar a temperatura ambiente.

Se dispusieron al aire libre en la misma plantilla donde fueron desarrolladas en una superficie plana sin contacto directo con los rayos solares.

Este ensayo se realizó el día 5 de octubre en la Región Metropolitana de Chile, contando con una temperatura de 23°C.

- **Secado en horno de gas.** Otra forma de secado estudiada es introduciendo las muestras en un horno de gas a 50°C de temperatura, la mínima.

Debido a la composición material de las plantillas, que incluía el plástico, las estructuras se movieron de esta a una bandeja metálica de horno.

• **Secado con una simulación del efecto de una desecadora.** Finalmente se simuló el sistema de secado de una desecadora. Se desarrolló un artefacto que consistía en una estructura de cartón donde la muestra se situaba en el centro y permitía, mediante un orificio, entrar el calor de temperatura media proporcionado por un calefactor eléctrico modelo SMD160G de la marca Nex de 50Hz y 1900W de potencia. A su vez, esta estructura favorecía la salida del agua evaporada por la parte superior de esta, manteniendo la muestra con la menor humedad posible.

Estos procesos se llevaron a cabo hasta que las dos muestras sometidas a cada uno presentaron un estado seco con el fin de determinar también el tiempo requerido.

Para el desarrollo de las muestras sometidas a este estudio se utilizó una plantilla como la utilizada en el análisis reológico descrito anteriormente, por ello las estructuras antes de comenzar el secado son de base cuadrada de 50 mm x 50 mm.

Se sometieron a cada modo de secado un total de dos muestras. La boquilla utilizada para hacer fluir el material para cada estructura es de 5 mm y 10 mm de diámetro y se realizaron estructuras con 6 y 5 capas respectivamente.

Para poder comparar los resultados obtenidos se tuvieron en cuenta las siguientes variables cuantitativas y cualitativas, las cuales fueron medidas con sistemas oficiales (mm, min) y otras se describieron cualitativamente mediante símbolos. Se indica el sistema de medida de cada variable.

- Tiempo que demora el secado. Cuantificado en horas y considerando el final de secado cuando deja de haber cambios.
- Temperatura de secado. Debido a la dificultad para definir la temperatura en algunos de los procedimientos, se hizo una escala comparando las diferentes temperaturas en cada proceso sin una medición oficial. Se consideró un símbolo la temperatura más baja y cinco la más alta.
- Contracción de la muestra. Para determinar la contracción supuesta por el curado, se midieron las estructuras al inicio del proceso y se continuaron cada 5 minutos teniendo en cuenta la altura de la muestra y la medida de la base.
- Unión entre capas. De forma cualitativa se describió el nivel de unión entre las capas, cuantos más símbolos se considera una mayor unión entre capas.
- Calidad del resultado final. Al igual que la variable anterior en este caso se considerará mediante una escala cualitativa la calidad del resultado obtenido. Para el análisis de la calidad del resultado se consideran cinco símbolos como el mejor grado de resultado y uno como el menor.

Se muestra a continuación la tabla creada para la comparación de resultados y las diferentes formas y escalas de medida:

**Tabla 07:** Muestra de la tabla del análisis de secado.

Método de secado	Boca (mm)	Tiempo de secado (horas)	Temperatura (☼ - ☼☼☼☼☼☼)	Contracción (%)	Unión capas (Δ - ΔΔΔΔΔ)	Resultado (★ - ★★★★★)	Resultado (Fotografía)
Secado al sol							
Secado al aire							
Secado horno							
Secado desecadora							

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Para el seguimiento de los procesos descritos se realizaron mediciones de altura, anchura y pesado cada treinta minutos, en el caso del secado al aire libre se realizó cada dos horas debido a que al no tener una fuente de calor directa se demoró más tiempo. Estas mediciones se recogieron en una tabla con el objetivo de cuantificar la reducción de tamaño y su contracción.

Tras realizar el anterior análisis de secado, se consideraron diferentes formas de lograr un mejor resultado pudiendo incrementar el número de capas y mayor unión entre estas. Por ello se estudió la posibilidad de proporcionarle calor entre capas, secándolas en cierta medida antes de depositar una nueva.

Se estudiaron las variables consideradas limitantes en todos los aspectos del proceso de secado con el fin de definir un método de llevarlo a cabo para obtener el mejor resultado posible, lo cual incluye el material sobre el que se desarrollan las estructuras, la fuente de secado y algunas variables como el posible secado entre capas.

### 2.2.6 Caracterización del comportamiento físico y mecánico del polímero.

Este proceso consistió en la determinación, evaluación y estudio del comportamiento físico y mecánico del material desarrollado. Para ello se consideraron los ensayos que pudieran ser más relevantes en cuanto a la definición del material trabajado para la posterior búsqueda de aplicaciones.

Se llevaron a cabo diferentes ensayos resumidos a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 08:** Ensayos para la caracterización del material.

Ensayos físicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Densidad</li><li>• Absorción</li><li>• Hinchamiento</li></ul>
Ensayos mecánicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flexión</li><li>• Tracción</li></ul>
Comportamiento ante agentes externos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Biodegradabilidad</li><li>• Envejecimiento natural</li></ul>

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En primer lugar, se realizaron diferentes ensayos físicos y mecánicos para caracterizar el material.

Para estos ensayos se crearon probetas del material de acuerdo a las medidas y características definidas en las normas que se exponen a continuación.

Se describen a continuación los diferentes ensayos realizados.

### 2.2.6.1 Densidad

El primer ensayo que se llevó a cabo fue determinar la densidad del material en estado natural para poder definirla antes de alterar la caracterización del material alterándolo mediante diferentes pruebas físicas.

Este ensayo se basó en la norma UNE-EN 323 (AENOR, 1994d) y se utilizaron cinco muestras de 50mm x 50mm. La densidad se calculó mediante la relación entre la masa y el volumen mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V} \times 10^3$$

Donde:

$\rho$  = Densidad medido en gramos (g) dividido en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>)

M = Masa (g).

V = Volumen (cm<sup>3</sup>).

Según la norma UNE-EN 323, la unidad de expresión de la densidad es kg/m<sup>3</sup>, en este estudio se adaptó a una escala menor debido a las dimensiones de las probetas siendo expresada en g/mm<sup>3</sup>.

Se realizaron 5 repeticiones de cada una de las 5 probetas (A, B, C, D, E).

La masa de las probetas se definió con una balanza con dos decimales y se realizaron cinco pesados a cada probeta considerando el promedio.

Se realizará una tabla comparativa con los resultados de los cálculos de la densidad en cada probeta.

### 2.2.6.2 Absorción

El ensayo de absorción de agua se basó en la norma UNE-EN 317 (AENOR, 1994b) y se utilizaron cinco muestras de 50 mm x 50 mm x 3 mm.

El ensayo consiste en sumergir en agua las probetas en posición horizontal en reposo a temperatura ambiente. Las muestras se sumergirán durante 24h realizando mediciones de peso antes de sumergirlas y a las 24h.

Se realizaron cinco pesados de cada una, antes y después de la inmersión, considerando posteriormente el promedio.

Para el cálculo de la absorción de agua se utilizará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción de agua} = \frac{A_f - A_i}{A_i} \times 100$$

Donde:

$A_i$  = Peso inicial de la lámina de plástico biobasado antes de sumergirla en agua (g).

$A_f$  = Peso final de la lámina de plástico biobasado al finalizar el tiempo total de la prueba (g).

Se realizará una tabla comparativa considerando el porcentaje resultante en cada probeta.

### 2.2.6.3 Hinchamiento

El ensayo de hinchamiento se determinó según la norma UNE-EN 317 (AENOR, 1994b).

El hinchamiento se estudiará midiendo el espesor tras sumergir las muestras en agua. En este ensayo se utilizaron cinco probetas de 50 mm x 50 mm y serán sumergidas en agua durante 24h.

Para este cálculo se pesaron las probetas antes de comenzar el ensayo y tras el tiempo total de la prueba realizando un total de cinco pesados considerando su promedio en ambas ocasiones.

$$H = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100$$

Donde:

H = Porcentaje de hinchamiento (%).

$E_i$  = Espesor de la probeta antes de comenzar el ensayo (mm).

$E_f$  = Espesor de la probeta tras completar el tiempo total del ensayo (mm).

Se realizará una tabla comparativa del resultado del porcentaje de hinchamiento para cada probeta.

#### 2.2.6.4 Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión se basó la norma ASTM D790-03, la cual se aplica a polímeros reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos.

Para este ensayo se desarrollaron cinco probetas de 127 mm x 12,7 mm x 3 mm.

El ensayo se realizó en el laboratorio de la Universidad del Bío-Bío, contando con un equipo de ensayos mecánicos universales modelo 4468 de la marca Instron.

La velocidad de este ensayo fue de 5.00000 mm/min

Se consideraría el esfuerzo de fluencia en flexión y el módulo de elasticidad (MOE) de cada una de las cinco muestras.

**Imagen 05:** Probetas ensayo flexión.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020

**Imagen 06:** Prueba ensayo flexión.



**Fuente:** Universidad del Bío-Bío, 2020

#### 2.2.6.5 Ensayo de Tracción

Se realizó un ensayo de tracción siguiendo las directrices de la norma ASTM D638-14, norma aplicable a plásticos para la determinación de sus propiedades de tracción.

Se desarrollaron cinco probetas con forma de hueso de perro cuyas medidas fueron de 150 mm de largura total, con un espesor de 14 mm a lo largo de 50 mm y su parte más ancha de 19 mm (Wechsler, 2013). Las probetas fueron desarrolladas a mano, tanto su moldeo como su corte.

El ensayo se realizó en el laboratorio de la Universidad del Bío-Bío, contando con un equipo de ensayos mecánicos universales modelo 4468 de la marca Instron.

La velocidad de este ensayo fue de 5.00000 mm/min

En este ensayo se consideró la resistencia a la tracción para cada una de las cinco probetas.

**Imagen 07:** Probetas ensayo tracción.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020

**Imagen 08:** Probetas ensayo tracción.



**Fuente:** Universidad del Bío-Bío, 2020

#### 2.2.6.6 Biodegradabilidad

El término “biodegradable” se define como “capaz de sufrir descomposición en CO<sub>2</sub>, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, que pueden ser medidos mediante ensayos estandarizados, en un periodo específico de tiempo, reflejando condiciones de eliminación posibles” (Guamán, 2019).

Según *Sphere Spain*, especialistas en fabricación de materiales biodegradables, los nuevos plásticos basados en almidón son biodegradables, desintegrables y carecen por completo de ecotoxicidad. Además, cumplen con la norma europea UNE-EN 13432 (AENOR, 2000) la cual concreta que los productos resultantes de las reacciones aerobias (en presencia de oxígeno) son CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + biomasa.

Además, esta norma limita el umbral de biodegradabilidad a una reducción del 90% en un máximo de seis meses. Respecto a la desintegración, esta especifica que el material no debe quedar dividido en fragmentos de más de 2 mm x 2 mm tras doce semanas de exposición.

Con el objetivo de determinar la biodegradabilidad del material desarrollado en este estudio y contrastar los resultados con lo descrito por las normas mencionadas, se realizó un análisis basado en la metodología descrita por López et al. (2010) con ciertas variaciones.

En primer lugar, se cortaron láminas del polímero basado en almidón de cáscara de papa, con la receta escogida finalmente, en cuadrados de 50 mm x 50 mm y 3 mm de espesor.

Estas láminas fueron enterradas a 50 mm de profundidad desde la superficie en un recipiente impermeable con tierra abonada, cuya composición se detalla más adelante, con el fin de exponerlas a condiciones de degradación aerobia a la intemperie con temperatura ambiente por un tiempo de 30 días entre los meses de septiembre y octubre en la comuna de Providencia, en la Región Metropolitana de Chile.

La tierra utilizada posee alto contenido de materia orgánica lo cual es una condición idónea para este estudio.

Con el objetivo de localizar en todo momento todos los segmentos de la probeta durante el proceso se desarrolló con una malla plástica una estructura retenedora y se dispuso en la tierra como se muestra en la siguiente foto.

**Imagen 09:** Ensayo biodegradabilidad.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Tabla 09:** Composición tierra ensayo.

Humedad %	30 - 45
Densidad aparente base 30% (kg/lt)	0,4 – 0,7
pH (Dilucion 1:5)	5 – 8,5
CE (Dilucion 1:5, ds/m)	< = 3
Materia orgánica (%)	> = 20
Relacion C/N (%)	< = 50

**Fuente:** Empresa ROOTS.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Para determinar la variación de peso y los cambios morfológicos posteriores a su exposición se pesaron, midieron y fotografiaron las muestras cada 6 días, teniendo en cuenta que se sometieron al estudio dos láminas.

El porcentaje de pérdida de peso se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Variación de peso} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100\%$$

Donde:

$P_i$  = Peso inicial de la lámina de plástico biobasado (g).

$P_f$  = Peso final de la lámina de plástico biobasado (g).

Para el análisis de los resultados se realizará una tabla comparativa de cada pesado y medida y del seguimiento fotográfico en cada probeta.

#### *2.2.6.7 Envejecimiento natural*

Otro factor ambiental al que están expuestos los materiales, especialmente los de exterior, es a los rayos UV. En los plásticos tradicionales expuestos a la radiación solar durante un tiempo prolongado se presentan cambios tanto en el color como en sus propiedades.

Tanto su estabilidad, elasticidad y dureza pueden verse afectadas, así como es posible que aparezcan grietas que fragilicen el material (Mexpolímeros).

Con el objetivo de estudiar los cambios perceptibles a simple vista del material expuesto a dichos rayos, como decoloración o degradación, se dispusieron dos láminas de 5mm x 5mm y 3 mm de espesor del polímero siguiendo la receta escogida.

El ensayo se basó en la metodología definida por Orden et al. (2000) con algunas modificaciones.

Este ensayo consistió en la exposición de dos láminas del material a la intemperie sobre una superficie con una inclinación de 45°, orientado hacia el Norte. Este proceso se llevó a cabo en la Región Metropolitana de Chile, en la comuna de Providencia y se extendió durante 30 días entre los meses de septiembre y octubre.

Para realizar el seguimiento de los posibles cambios se hicieron fotos a las muestras cada 6 días sobre una superficie blanca.

### 2.2.7 Fase experimental con la impresora 3D

Anteriormente se realizaron análisis de fluidez de diferentes recetas con el objetivo de escoger la que mejor se adaptara a las características de materiales imprimible 3D.

En ese proceso se definió la receta, se determinó el método de secado y se caracterizó el material.

Una vez determinados esos parámetros se procedió a su comprobación en la impresora 3D modificada para este proyecto FONDART llamado “Investigación y desarrollo de un sistema open source de prototipado 3D para materiales biobasados” cuyo número de folio es 531807. Para ello se determinaron ciertos parámetros para el desarrollo del programa específico de impresión de este material.

Se realizaron extrusiones manuales del material con una manga pastelera de boca 5 mm recorriendo un espacio lineal de 10 cm.

Se cronometró el tiempo que se requirió para realizar ese trayecto y se realizaron mediciones del hilo extruido, tanto del alto como del ancho.

Se realizaron cinco repeticiones con sus respectivas mediciones y se consideró el promedio.

Una vez definidos los parámetros de la velocidad de impresión, la altura del hilo extruido y su anchura, se comprobó su aplicación en la impresora 3D.

Esta impresora no cuenta de momento con un sistema de bombeo, por lo que el material fue introducido en una jeringuilla que a través de una manguera proporcionó el material a la boca de la impresora de 5 mm de diámetro.

Por ello se preparó el material y se introdujo en la jeringa tratando de evitar burbujas de aire.

Una vez preparado el material y conectado el sistema a la impresora se realizaron varias pruebas imprimiendo estructuras de base cuadrada de 10 cm x 10 cm con dos capas de altura.

El objetivo fue comprobar en la impresora tanto la fluidez del material como la capacidad de apilarse definidos anteriormente en los estudios realizados con la manga pastelera.

### 2.2.8 *Análisis perceptual del material*

En la fase experimental llevada a cabo se ha caracterizado el material realizando diferentes ensayos. Sin embargo, además de definir el material en cuanto a sus límites formales, su forma de trabajarlo o su comportamiento físico o mecánico es importante analizar cómo es percibido este material, lo que permite tener una visión más completa sobre su conjunto.

Para analizar la percepción del material se realizó una encuesta a tres grupos de personas. Para ello se definió en primer lugar el método a seguir. Se trata de la herramienta **Diferencial Semántico**, creada por Osgood (1957).

Esta herramienta se emplea para cuantificar la percepción de un objeto o imagen de forma que se el encuestado define su percepción diferenciando entre pares de atributos bipolares basándose en una escala definida (Aros et al., 2009). Dichos atributos son definidos junto a la escala en función de la información que se desee obtener.

Una vez se definió la herramienta a utilizar se concretaron diferentes aspectos del estudio.

#### **Población de estudio**

La población de estudio consta de 45 personas divididas en tres grupos diferentes:

- Graduados en diseño industrial. Este grupo está formado por 15 personas tituladas en diseño industrial.
- Usuario Genérico. Este segundo grupo está constituido por 15 usuarios sin especial inquietud por la sostenibilidad y sin ninguna formación relacionada con el diseño.
- Consumidor consciente. Este último grupo lo conforman 15 personas consideradas “consumidores conscientes”. Se entiende por consumidor consciente aquellos usuarios cuya elección de productos y servicios se basa no solo en su calidad y precio, sino por el impacto medioambiental y social que produce y las conductas de las empresas que lo desarrollan (Emaús).

#### **Atributos polares**

Los atributos considerados en este estudio se definieron basándose en los considerados en un estudio similar para un material residual desarrollado por Muñoz (2019) con el objetivo de analizar las cualidades esperadas de dicho material, contando como referencia Aros et al., (2009) y Sauerwein et al., (2017).

Se escogieron los 24 pares de atributos definidos que se exponen a continuación:

Suave	Áspero	Resistente	Frágil
Cálido	Frío	Flexible	Rígido
Blando	Duro	Agradable	Desagradable
Liviano	Pesado	Formal	Informal
Brillante	Mate	Duradero	Temporal
Natural	Artificial	Convencional	Innovador
Antiguo	Moderno	Aburrido	Interesante
Elegante	Vulgar	Raro	Común
Honesto	Falsa	Bruto	Procesado
Lujoso	Humilde	Limpio	Sucio
Costoso	Barato	Bello	Feo
Baja calidad	Alta calidad	Sustentable	Insostenible

### Muestras del material

Producto de la pandemia se optó por realizar una encuesta digital en su totalidad.

Por ello se escogieron y fotografiaron las muestras del material a mostrar para su realización.

Para la primera parte de la encuesta, Diferencial Semántico, se mostraron dos fotos de una probeta de dimensiones 50mm x 50mm x 3mm del material con el objetivo de mostrar su esencia sin vincularlo con la impresión 3D para tratar de no influir en las respuestas.

En las siguientes preguntas se introdujeron fotografías de las estructuras desarrolladas simulando la impresión 3D, manga de 5mm de diámetro, 12 capas y base cuadrada de 50mm x50mm.

#### Imágenes 10, 11, 12, 13 y 14: Fotografías Análisis Perceptual.

En la primera imagen se muestra la probeta sobre una mano y recibiendo luz solar directa.



La segunda fotografía muestra la superficie del material frontalmente sin soporte y con la luz de un espacio interior.



La primera y segunda imagen muestran la estructura antes y después del secado. La última la dimensión.

## **Encuesta**

Los participantes recibieron la encuesta y analizando las fotografías mostradas en cada fase respondieron a las preguntas requeridas.

En la fase del Diferencial Semántico se definió una escala de 1 a 7, siendo 1 el máximo de un atributo, 7 el máximo del opuesto y 4 el valor neutro.

Adicionalmente al Diferencial Semántico se introdujeron preguntas acerca de su posible aplicación. Dos preguntas acerca de su consideración de uso interior o exterior cuya respuesta podía ser “Sí” si lo considerabas factible o “No” en caso contrario para cada una.

Se preguntó finalmente por posibles aplicaciones directas introduciendo un espacio para que el encuestado escribiera aplicaciones concretas que consideraba oportunas tras analizar el material expuesto.

Previamente a la realización de la encuesta no se dio ningún tipo de información acerca de la composición o características del material. Se mencionó su posible implementación en la impresión 3D únicamente al final de la encuesta para orientar sus posibles aplicaciones según la tecnología con la que se trabaja.

La encuesta se desarrolló a través de la herramienta “Google Forms” y se distribuyó a los encuestados a través de un enlace.

Se recogieron los resultados obtenidos en tablas comparativas y se desarrollaron gráficos para su análisis.

## **2.3 Estudio de aplicaciones en el diseño**

### *2.3.1 Usuario y objetivo de este desarrollo*

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario definir el usuario que pudiera consumirlo, tanto el posible usuario que lo produjera como el usuario final que lo disfrutara.

Se realizó un mapa conceptual con las posibles productoras de este desarrollo, el método de producción, las implicaciones de este proceso y el usuario final con el objetivo de analizar cada vía y poder concretar el usuario idóneo para el material generado.

En la siguiente tabla se muestran las opciones contempladas:

**Tabla 10:** Usuarios y objetivos del desarrollo.

PRODUCTORA	Empresa grande	PYME	Actividad educativa	Particular
PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción en grandes cantidades y desarrollo de nuevos objetos producidos en masa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción en menor tamaño, productos limitados, mayor participación del usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo y experimentación con el material en clase y su método de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo del material y creación de productos en el domicilio para uso doméstico</li> </ul>
IMPLICACIONES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de empleo en pequeñas, medianas o grandes empresas</li> <li>- Eliminación del coste de retirada de residuos en la empresa productora de papas.</li> <li>- Valorización del residuo</li> <li>- Desarrollo y venta de nuevos productos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enseñanza de la importancia de reutilizar residuos</li> <li>- Actividades Químicas</li> <li>- Actividades Físicas</li> <li>- Arte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reutilización de residuos domésticos</li> <li>- Desarrollo de productos en el domicilio</li> <li>- Posesión de una impresora 3D</li> </ul>
USUARIO FINAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usuario Genérico</li> <li>- Consumidor consciente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñador</li> <li>- Usuario Genérico</li> <li>- Consumidor consciente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiantes del centro educativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumidor consciente, desarrolla todo el proceso.</li> </ul>

**Realizado por:** Lucía Gascón.

### 2.3.2 Aplicaciones en el diseño

Para analizar y orientar las posibles aplicaciones en el diseño del material se realizó un cuadro resumen del material con el objetivo de reunir toda la información obtenida y la forma de trabajarlo.

En este resumen se incluyó su composición, método de extracción del almidón, elaboración del plástico, condiciones para la impresión 3D, método de secado; propiedades físicas y mecánicas, perceptuales y de exposición a agentes externos.

Adicionalmente, en la encuesta realizada sobre la percepción del material se incluyó una pregunta acerca de posibles aplicaciones y se mencionarán para orientar su aplicación en futuros proyectos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Selección de la muestra y estado del residuo

Se comenzó con la misma cantidad de cáscaras frescas en ambos casos de 20g, sin embargo, se obtuvo 1.7g de cáscara fresca tras el desecado. Tras someter ambas muestras al proceso de extracción por decantación, descrito anteriormente, no se obtuvo una cantidad perceptible de almidón del residuo seco, mientras que del fresco se pudo apreciar como se depositó una pequeña cantidad de almidón en la base del recipiente donde se contenía.

**Imagen 15:** Muestra piel fresca.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 16:** Muestra piel seca.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En cuanto a la fuente del residuo, se comenzaron a realizar las extracciones del residuo doméstico. Tras la apertura de algunos negocios debido al final de la cuarentena, se realizó un seguimiento de numerosos establecimientos que producían papas con el objetivo de contactar con uno que utilizara papas naturales y pudiera proporcionar mayores cantidades de residuo. Se obtuvieron las cáscaras del restaurante “Gennaro’s” lo que facilitó el proyecto ya que se consiguieron mayores cantidades de residuo y eso facilitó a la hora de la decantación, la separación del almidón del resto de residuos de cáscara de papa.

Se pudo concluir que el estado óptimo del residuo era fresco y lavado con un tiempo de almacenamiento de un máximo de 48h refrigerado ya que contiene todas sus propiedades y almidón intacto, y cuanto mayor fuera la cantidad de residuo, más fácil sería la extracción del almidón sin restos de cáscara de papa. Esto se debe a que cuanto mayor es la cantidad de almidón mejor puede retirarse al sedimentar ya que es más diferenciable de los demás restos de papa.

### 3.1.2 Resultado extracción del almidón a partir de la cáscara de la papa

Se muestra a continuación, mediante imágenes, el proceso de extracción llevado a cabo para la obtención del almidón de la papa.

**Figura 12:** Proceso de extracción del almidón.

<p>Recolección y lavado del residuo</p> 	<p>Pesado</p> 	<p>Adición de agua</p> 	<p>Triturado</p> 
<p>Filtrado</p> 	<p>Pulpa húmeda</p> 	<p>Extracción de jugo</p> 	<p>Pulpa seca</p> 
<p>Almacenamiento del líquido</p> 	<p>1ª Decantación 24h</p> 	<p>Unificación y 2ª Decantación 24h</p> 	<p>Almidón húmedo</p> 
<p>Secado al sol</p> 	<p>Almidón seco</p> 	<p>Pesado</p> 	<p>Almacenamiento</p> 

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Para la obtención de almidón se realizaron numerosas extracciones y se realizó un seguimiento de las todas las variables recogidos en la siguiente tabla:

**Tabla 11:** Resultados de la extracción del almidón de papa.

Ext	Cáscaras (g)	Agua añadida (ml)	Pulpa húmeda (g)	Pulpa seca (g)	Líquido total (g)	Almidón húmedo (g)	Líquido desechado (g)	Tiempo secado (min)	Almidón seco (g)	%Almidón en la cáscara
E1	434	900	492	135	1811	×	1811	×	×	×
E2	1306	2812,5	898	156	3983	150	3833	210	73	5,59
E3	448	1500	389	77	1306	87	1219	270	36	8,04
E4	431	1350	458	128	2177	92	2085	180	25	5,80
E5	2909	2700	2619	929	4619	236	4383	360	118	4,06
E6	367	1350	554	166	1506	143	1363	360	34	9,26
E7	2026	2250	1839	534	4189	180	4009	360	62	3,06
E8	4619	4500	4856	1458	9143	332	8811	360	224	4,85
E9	2094	2700	2047	721	4231	140	4091	210	67	3,20
E10	1589	2362,5	2226	864	4267	123	4144	180	60	3,78
E11	2492	2250	2707	965	3887	174	3713	270	83	3,33
E12	2301	2025	2360	819	3584	128	3456	240	60	2,61
E13	2963	2475	2924	806	2273	146	2127	270	79	2,67

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En la primera extracción no se obtuvo almidón ya que se contaminó con tierra durante la decantación, por lo que en las siguientes decantaciones se trabajó con cáscara lavada.

A medida que se realizaron más extracciones se pudo ir ajustando y reduciendo la cantidad de agua añadida, y por lo tanto la desechada.

Realizando el promedio de los datos recogidos, se pudo definir que, de los residuos obtenidos, un 4,9% es almidón. Esto se debe a que la mayor cantidad del almidón se encuentra fuera de la cáscara de papa, por lo que, según lo esperado, deberá trabajarse con grandes cantidades de esta.

Tras haber extraído el almidón de las cáscaras de las papas, dándole un valor añadido a este desecho, obtenemos como residuo la pulpa sólida y el líquido resultante.

Los restos de papa triturados y secados pueden ser compostados para su utilización como fertilizante, ya que al estar triturados se favorece además su rápida descomposición (Reciclario, 2020).

Este residuo es rico en nitrógeno, lo cual aporta al compost final y favorece que la planta desarrolle sus tallos y hojas (PapaChile, 2017), además puede incrementar el pH liberando compuestos alcalinos (Reciclario, 2020).

El líquido resultante de este proceso puede ser empleado para el riego de cultivos (Reciclario, 2020).

### 3.1.3 Análisis reológico y selección y definición de la receta

Se detalla a continuación el resultado del análisis reológico desarrollado para elegir la receta que mejores resultados diera por medio de una tabla comparativa:

**Tabla 12:** Tabla de resultados del análisis reológico de las recetas.

Receta	Tiempo de cocinado (min)	Mezclabilidad (√-√√√√√√)	Consistencia (*-*****)	Fluidez (★-★★★★)	Ángulos (Δ-ΔΔΔΔΔ)	Figuras circulares (○-○○○○○)	Resultado (Fotografía)
PA	40'	√√√	*	3 mm ★★	ΔΔ	○○	
				5 mm ★	Δ	○○	
				10 mm ★	Δ	○	
PB1	4'	√√	****	3 mm ★★	ΔΔ	○○○	
				5 mm ★★★	ΔΔ	○○○	
				10 mm ★★★	ΔΔ	○	
PB2	7'	√√√√	***	3 mm ★★★	ΔΔΔΔ	○○○○	
				5 mm ★★★★★	ΔΔΔΔ	○○○○	
				10 mm ★★★	ΔΔΔ	○○○	

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Tras analizar los resultados obtenidos en la tabla anterior se descartó totalmente la receta PA ya que no destacaba en ninguna de las variables consideradas y no se obtuvieron buenos resultados.

Entre los resultados de la receta PB1 y PB2 hubo menos diferencia, sin embargo, el porcentaje mayor de agua en la segunda receta fue decisivo proporcionándole una mejor fluidez dado que era menos consistente, y una mejor mezclabilidad ya que el cocinado era más lento y se podían integrar mejor los reactivos. Para tener todos los factores en cuenta se realizaron muestras de estructuras con más capas y se observó la mejor unión entre las realizadas con la receta PB2. En conclusión, se escogió la receta PB2 ya que, al poseer mayor cantidad de agua, la mezcla fluía mejor, siendo más fácil trabajarla y adaptándose a las formas reproducidas.

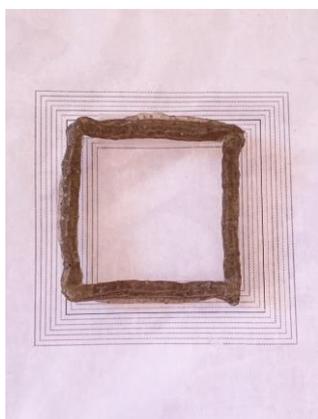
### 3.1.4 Resultado del seguimiento de secado de las muestras

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, las muestras sufrieron considerables cambios morfológicos durante el proceso de secado. Se muestran a continuación los resultados de las diferentes variables estudiadas con el objetivo de definir el método que mejores resultados diera.

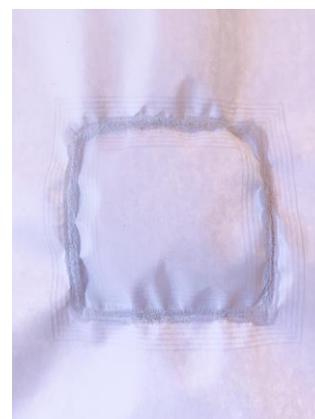
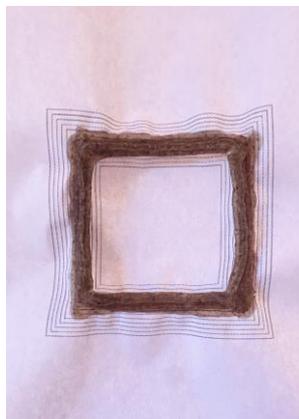
En primer lugar, debido a la deformación que sufrieron las muestras durante el ensayo de fluidez, se consideró el material de la base sobre la que se elevaba la estructura.

Se presentan en las figuras 17, 18 y 19 los resultados de la prueba sobre la plantilla de papel y la realizada sobre una superficie plástica transparente dispuesta encima de esta.

**Imagen 17:** Superficie plástica.



**Imágenes 18, 19:** Superficie papel.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

La estructura secada sobre la superficie plástica se mantuvo unida y se seco de manera uniforme permitiendo extraerla de la plantilla tras su secado. Por otra parte, la situada encima de la plantilla de papel directamente mostró una deformación mayor ya que el papel fue absorbiendo el agua contrayéndose y la muestra quedó pegada al papel sin poder extraerla.

Por ello se consideró que la mejor superficie donde depositar el material es la superficie plástica, o en su lugar, una que permita a la muestra deslizarse durante la contracción en el secado.

Una vez definida la superficie óptima para realizar el seguimiento de secado se exponen los resultados de los ensayos realizados con diferentes fuentes de calor.

Las cuatro fuentes de calor fueron el secado por exposición solar, secado sin fuente de calor, secado en horno de gas y secado con una estructura que reproduce el efecto de una desecadora.

En la siguiente tabla se exponen los resultados del análisis de secado considerando las diferentes variables estudiadas:

**Tabla 13:** Resultados del análisis de secado.

Método de secado	Boca (mm)	Tiempo de secado (horas)	Temperatura (☀ - ☀☀☀☀☀)	Contracción (%)	Unión capas (Δ - ΔΔΔΔΔ)	Resultado (★ - ★★★★★)	Resultado (Fotografía)
Secado al sol	5 mm	3,5 h	☀☀☀☀	↓ 55 % ← 28 %	ΔΔΔ	★★★★	
	10 mm	4,5 h	☀☀☀☀	↓ 60 % ← 23,6 %	ΔΔ	★★	
Secado al aire	5 mm	30 h	☀	↓ 50 % ← 30 %	ΔΔ	★★★★	
	10 mm	38 h	☀	↓ 62,5 % ← 21,8 %	ΔΔΔ	★★	
Secado horno	5 mm	3 h	☀☀☀☀☀☀☀☀	↓ 60 % ← 12 %	Δ	★	
	10 mm	4 h	☀☀☀☀☀☀☀☀	↓ 52 % ← 25,9 %	Δ	★	
Secado desecadora	5 mm	3,5 h	☀☀☀☀☀☀☀☀	↓ 57,9 % ← 24 %	ΔΔΔΔΔ	★★★★★	
	10 mm	4,5 h	☀☀☀☀☀☀☀☀	↓ 52 % ← 25,9 %	ΔΔΔ	★★★★	

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

En las siguientes tablas se recogen medidas en porcentaje las variaciones de altura, anchura y masa de las estructuras sometidas a los diferentes métodos de secado. Estas mediciones fueron llevadas a cabo cada treinta minutos a excepción de la secada al aire libre que se realizaron cada dos horas ya que su proceso fue más lento.

**Tabla 14:** Resultados reducción tras secado al sol.

Tiempo (min)	Secado al sol					
	Variación altura (%)		Variación anchura (%)		Variación peso (%)	
	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm
0	0	0	0	0	0	0
30	5	10	4	0	18,6	9
60	10	15	8	9,1	27,8	14
90	10	20	12	10,9	36,7	17
120	20	25	14	12,7	42,7	25
150	35	35	14	16,4	55,8	36
180	50	40	18	16,4	59,3	44
210	55	50	28	18,2	75,2	55
240	—	60	—	20	—	70
270	—	60	—	23,6	—	77

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Tabla 15:** Resultados reducción tras secado al aire.

Secado al aire						
Tiempo (h)	Variación altura (%)		Variación anchura (%)		Variación peso (%)	
	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm
0	0	0	0	0	0	0
2	5	4,2	2	0	5,2	7,5
4	10	8,3	4	1,8	13,2	13,1
6	15	12,5	8	3,6	23,7	20,3
8	20	16,7	12	5,5	40,3	31,2
10	25	20,8	12	7,3	42,8	39,9
12	30	25	12	7,3	43,8	45,5
14	30	25	14	9,1	48,2	47,2
24	35	33,3	20	12,7	50	58,0
26	35	37,5	22	12,7	56,6	61,9
28	40	41,7	24	14,5	59,5	64
30	50	45,8	30	14,5	70,1	70,9
32	—	54,2	—	16,4	—	73,4
34	—	58,3	—	20	—	76,1
36	—	62,5	—	21,8	—	76,7
38	—	62,5	—	21,8	—	77

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Tabla 16:** Resultados reducción tras secado en horno.

Secado horno						
Tiempo (min)	Variación altura (%)		Variación anchura (%)		Variación peso (%)	
	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm
0	0	0	0	0	0	0
30	6,7	8	4	3,7	20,7	22,2
60	20	24	8	11,1	36,2	37,9
90	33,3	32	10	16,7	56,5	52,6
120	46,7	36	12	16,7	66,7	56,9
150	46,7	40	12	18,5	76,1	62,6
180	60	48	12	20,4	78,2	65,4
210	—	52	—	22,2	—	68,5
240	—	52	—	25,9	—	71

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Tabla 17:** Resultados reducción tras secado efecto desecadora.

Secado efecto desecadora						
Tiempo (min)	Variación altura (%)		Variación anchura (%)		Variación peso (%)	
	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm	Boca 5 mm	Boca 10 mm
0	0	0	0	0	0	0
30	5,3	13	2	3,6	20,4	6,2
60	15,8	17,4	6	9,1	35	21
90	21,1	21,7	8	12,7	37,9	30,1
120	31,6	21,7	10	16,4	47,6	36,3
150	36,8	30,4	20	18,2	58,3	45,1
180	52,6	34,8	20	18,2	64,1	55,6
210	57,9	39,1	24	20	66	65,4
240	—	47,8	—	22	—	68,8
270	—	56,5	—	21,8	—	74,8

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Tras haber definido la superficie sobre la que depositar el material y el mejor método de secado, se consideraron diferentes formas de lograr un mejor resultado pudiendo incrementar el número de capas y mayor unión entre estas. Para ello se realizó una prueba aumentando el número de capas en estructuras con boca de extrusión de 5 mm y 10 mm de diámetro.

A continuación, se muestran el resultado de las estructuras de boca 10 mm y 5 mm con 9 y 12 capas respectivamente habiendo proporcionado calor con la estufa entre ellas, antes de comenzar el proceso de secado (1 y 3) y al finalizarlo (2 y 4).

**Imagen 20:** Secado entre capas 1.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 21:** Secado entre capas 2.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 22:** Secado entre capas 3.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 23:** Secado entre capas 4.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Se pudo concluir que al secar unos minutos las capas antes de añadir la siguiente se le proporcionó una estabilidad que permitió añadir el número de capas deseado. Resultó mejor en la estructura de extrusión de 5 mm ya que en la de 10 mm tras el secado se produjeron huecos entre las capas.

En este análisis se definió que el material donde se depositaría el material sería plástico ya que permite el movimiento de esta durante la contracción producida por el secado, que el mejor método de secado es el de efecto desecadora, replicado con una estufa y que el secado entre capas permite añadir cuantas capas se quiera de forma controlada y estable.

### 3.1.5 Caracterización del comportamiento físico y mecánico del polímero.

#### 3.1.5.1 Densidad

En la siguiente tabla se han recogido los valores considerados de las cinco probetas con el objetivo de determinar su densidad.

Se considera el promedio de los cinco pesados realizados en cada probeta, su volumen y el resultado de densidad en cada muestra.

**Tabla 18:** Tabla de resultados de la densidad del material.

	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
Masa (g)	7,7	7,8	7,6	7,3	7,5	7,6
Volumen (cm <sup>3</sup> )	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,03	1,04	1,01	0,97	1,00	1,01

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Por lo tanto, a partir del promedio de las densidades obtenidas, la densidad del material es de 1,01 g/cm<sup>3</sup>. Esta es una densidad menor que la del PLA, material utilizado en impresión 3D basado en maicena, el cual tiene una densidad de 1,24 g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.1.5.2 Absorción

En la siguiente tabla se detallan los resultados de absorción de agua en porcentajes.

**Tabla 19:** Tabla de resultados de absorción de agua tras 24 horas.

	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
Absorción a las 24 horas (%)	50,3 %	618 %	55 %	60,2 %	57,5 %	57 %

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

La absorción de agua en las cinco muestras presenta valores similares. Tras considerar el promedio, se define el porcentaje del material de absorción de agua a las 24 horas al 57 %. Este porcentaje elevado de absorción se debe a la capacidad de absorción e hinchamiento del almidón al entrar en contacto con el agua.

### 3.1.5.3 Hinchamiento

Se detallan los resultados de hinchamiento del material en porcentajes en la siguiente tabla.

**Tabla 20:** Tabla de resultados del hinchamiento tras 24 horas.

	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
Hinchamiento a las 24 horas (%)	28,3 %	31,6 %	29,4 %	30,5 %	29,5 %	29,9 %

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

El hinchamiento del material tras haber mantenido las probetas 24 horas sumergidas en aguas concluye con un promedio de 29,9% al igual que en la absorción este dato refleja la tendencia a absorción e hinchamiento del almidón.

### 3.1.5.4 Resultados ensayo flexión

Tras realizar los ensayos de flexión a las 5 probetas desarrolladas, tanto en la gráfica como en los valores de carga, se pudo apreciar que el material no tiene zona elástica, sino plasticidad instantánea.

Debido a ello, los gráficos que se obtuvieron, además de la pendiente y módulo elástico (MOE) no fueron válidos.

Como se puede apreciar en las imágenes 24 y 25, las probetas no opusieron resistencia a la flexión, por lo que pudo considerarse que se trata de un material con comportamiento elastomérico.

**Imágenes 24 y 25:** Resultado análisis flexión.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020

### 3.1.5.5 Resultados ensayo tracción

Respecto a los resultados del ensayo de tracción, tras haberlo realizado a cinco probetas, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 21:** Tabla de resultados del ensayo de tracción.

Probeta	Carga Max (kN)	Desp. Max (mm)	Tens. Max (Mpa)	Modulo (Mpa)
1	0,09	16,2	2,7	40,8
2	0,08	6,9	2,0	62,3
3	0,11	11,7	2,9	61,0
4	0,09	17,4	2,1	18,4
5	0,09	17,2	1,9	14,8
Promedio	0,09	11,6	2,6	54,7

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Debido a la producción manual de las probetas, se produjeron diferencias en sus dimensiones debido a la inexactitud de este proceso.

Por ello se descartaron los resultados proporcionados por las probetas 4 y 5, ya que estas no reunían las características dimensionales de la norma.

Finalmente, considerado el promedio con una carga máxima de 0,9 kN, pudo definirse un módulo de resistencia a tracción del material de 54,7 MPa.

En las imágenes 26 y 27 puede apreciarse el proceso del ensayo de tracción.

**Imágenes 26 y 27:** Resultado análisis flexión.

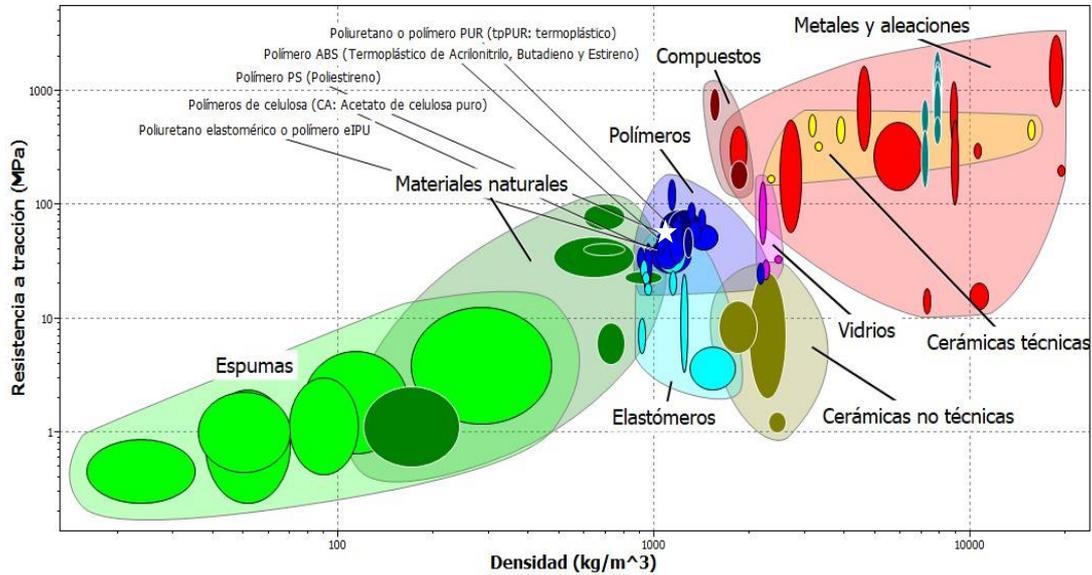


**Fuente:** Universidad del Bío-Bío, 2020

A partir de los resultados de la resistencia a la tracción obtenida con un valor de 54,7 MPa y el valor de la densidad del material de 1010 kg/m<sup>3</sup>, pudo situarse el material a través del software CES Edupack contextualizándolo y comparándolo con otros materiales de características similares.

En la siguiente figura puede verse la situación del material comparándolo con materiales como el Polímero ABS, polímero mencionado anteriormente utilizado en impresión 3D.

**Figura 13:** Comparación del material



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

### 3.1.5.6 Biodegradabilidad

Se muestra a continuación en una tabla resumen el porcentaje de variación de peso que sufrió cada probeta durante el tiempo total del ensayo. Se muestran las fotos del proceso y la variación de peso, tanto aumento como disminución, sobre el peso inicial de la probeta cada 6 días.

**Tabla 22:** Tabla de resultados del ensayo de biodegradabilidad.

	Inicio	6 días	12 días	18 días	24 días	30 días	30 días (seca)
Progresión probetas (Muestra 1)							
Variación de peso (%)	<b>0% (7,07g)</b>	↑ 57%	↑ 24,7%	↑ 22,5%	↓ 5,8%	↓ 22,1%	↓ <b>45,3%</b>
Progresión probetas (Muestra 2)							
Variación de peso (%)	<b>0% (7,28g)</b>	↑ 44,3%	↑ 14,9%	↑ 34,7%	↑ 8,5%	↓ 13,6%	↓ <b>48,8%</b>
Promedio (%)	<b>0% (7,18g)</b>	↑ 50,6%	↑ 19,8%	↑ 28,6%	↑ 1,4%	↓ 17,9%	↓ <b>47,1%</b>

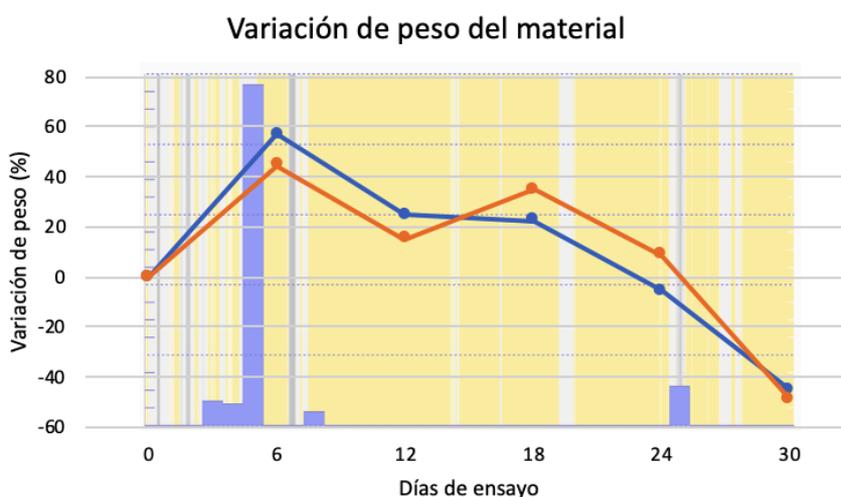
**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Para hallar el porcentaje final se dejaron secar las probetas, eliminando el agua que pudiera haberse absorbido y se limpiaron exhaustivamente para tratar de obtener el peso únicamente de los restos de material.

Se puede determinar que la primera muestra pesó al inicio 7,0g y, tras treinta días de ensayo, su peso final fue de 3,98g, reduciendo su peso en un 45,3%.

A su vez la segunda muestra pesó al iniciar el ensayo 7,28g y lo finalizó con un peso de 3,62, disminuyendo su peso en un 48,8%.

**Figura 14:** Resultados variación de peso con condiciones meteorológicas.



**Fuente:** Meteoblue, 2020.

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Se muestran en las líneas azules las precipitaciones registradas por comparación. El fondo gris representa la aparición de nubes (cuanto más oscuro densidad), y el amarillo representa el cielo claro. Y se presentan los resultados de la variación de peso mediante la línea azul para la primera muestra y la naranja para la segunda.

Se muestran a continuación los resultados de las muestras, descritos anteriormente.

**Imagen 28:** Resultado biodegradabilidad M1.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 29:** Resultado biodegradabilidad M2.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Según la norma europea UNE-EN 13432 (AENOR, 2000), relacionada con los nuevos materiales, se exige que el material reduzca su peso un 90% en un máximo de seis meses. Su desintegración define los fragmentos máximos con medidas de 2 mm x 2 mm tras doce semanas (Ambienta, 2007).

Considerando el promedio, se concluye que tras treinta días exponiendo el material al ensayo de biodegradabilidad definido anteriormente, este reduce su tamaño en un 47,1%. Este porcentaje acerca al material al cumplimiento del 90% definido por la norma, lo cual se debe a su composición biológica, lo cual favorece la rápida biodegradación.

### 3.1.5.7 Envejecimiento natural

Tras treinta días de exposición de dos muestras a la intemperie se muestran a continuación los resultados del seguimiento fotográfico cada seis días.

**Tabla 23:** Tabla de resultados del ensayo de envejecimiento natural.

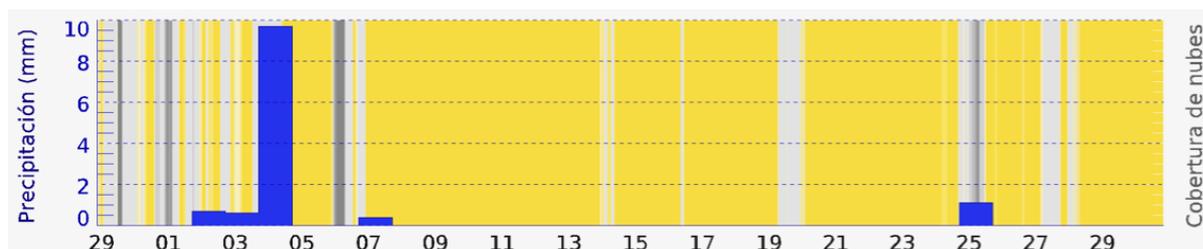
	Inicio	6 días	12 días	18 días	24 días	30 días
Progresión probetas (Muestra 1)						
Progresión probetas (Muestra 2)						

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Al estar a la intemperie estuvo expuesto a rayos UV, humedad, lluvia, variaciones de temperatura. Debido a estos fenómenos fue sufriendo un proceso de cambio que implicó la aparición de manchas blanquecinas y la reducción de tamaño.

Se exponen en los siguientes gráficos las condiciones climáticas durante los días de ensayo:

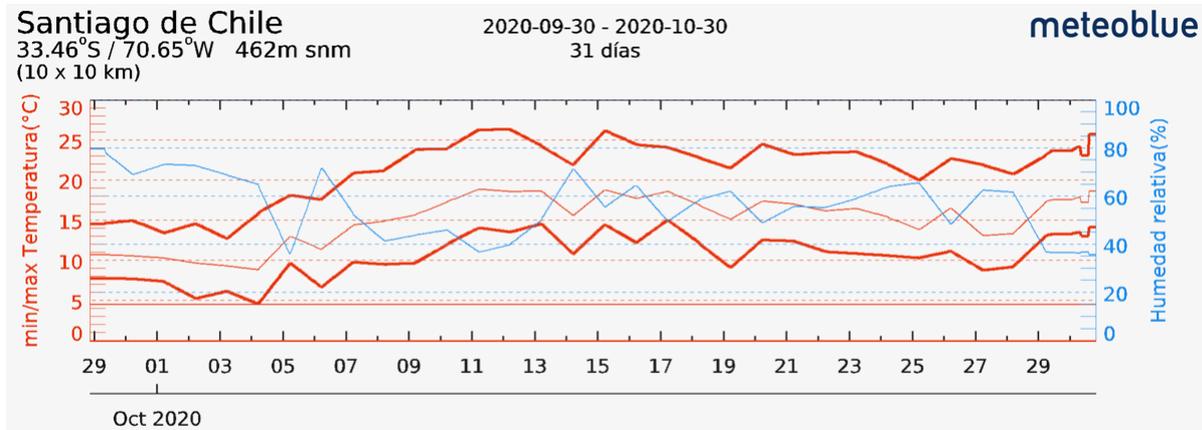
**Figura 15:** Tabla de resultados del ensayo de envejecimiento natural.



**Fuente:** Meteoblue, 2020.

La figura 15 muestra las precipitaciones registradas en los días indicados y además se muestran las nubes en color gris de fondo y en amarillo los días despejados. Cuanto más oscuro es el color gris mayor densidad de nubes se registró.

**Figura 16:** Tabla de resultados del ensayo de envejecimiento natural.



**Fuente:** Meteoblue, 2020.

En la figura 16 se muestra la temperatura registrada durante los días de ensayo e incluye la humedad relativa medida en intervalos de una hora. En ambos laterales se encuentran las escalas de medida de ambos factores.

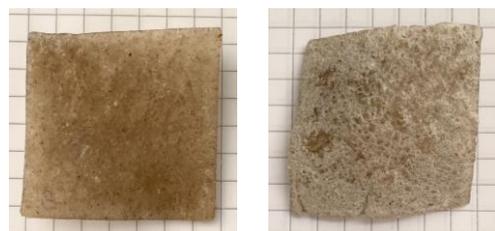
A continuación, se muestra una comparación entre las muestras iniciales y el resultado final tras el ensayo.

**Imagen 30:** Resultado envejecimiento M1.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

**Imagen 31:** Resultado envejecimiento M2.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Se observó que, durante la madrugada, tras recibir el rocío, absorbían agua y con la aparición del sol, al recibir calor, esta se evaporaba dejando esa apariencia blanquecina y disminuyendo su tamaño. Cada que se producía el fenómeno descrito, las muestras resultaban más rígidas, su elasticidad disminuía y se contraían deformando su tamaño. Este fenómeno es similar al producido en materiales de madera, los cuales se expanden y contraen condicionados por la humedad del ambiente.

### 3.1.6 Resultados comprobación con la impresora 3D

Tras haber comprobado la capacidad del material de ser extruido a través de una manga pastelera y definir sus características y comportamiento, se comprobó la impresión 3D de este material.

Para la configuración el programa específico de la impresión 3D de este material se realizaron extrusiones del material recorriendo 10 cm y cronometrando el tiempo que requería dicho proceso, tras realizar cinco repeticiones se tomó el promedio. El tiempo que tardó el material fue de 10 segundos.

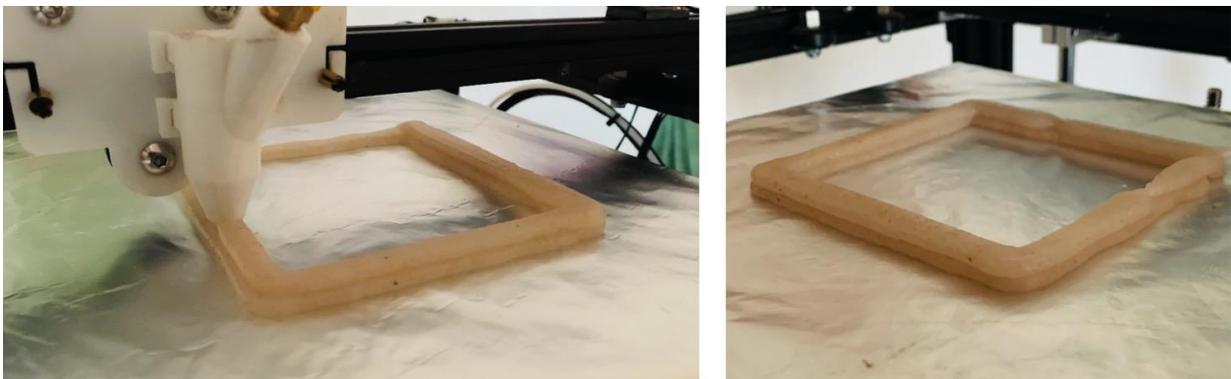
Además, se realizaron mediciones de la altura del hilo extruido con el fin de programar la altura de la siguiente capa, y mediciones de la anchura del hilo para posibles aplicaciones futuras de construcción con capas desplazadas. Se realizaron cinco repeticiones y se consideró el promedio, definiendo la altura y la anchura del hilo de 4 mm.

Una vez definidos dichos parámetros se realizaron varias pruebas con la impresora desarrollando estructuras de 10 cm x 10 cm y dos capas de altura con una boca de extrusión de diámetro de 5 mm.

En la imagen 32 se muestra el proceso de impresión.

Esta impresora modificada no cuenta de momento con un sistema de bombeo automático, por lo que se proporcionaba el material a la boca de la impresora a través de una manguera unida a una jeringuilla.

**Imagen 32:** Proceso prueba impresión 3D.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Debido al sistema de bombeo manual, se dejó menos tiempo de cocinado en el desarrollo del material, obteniendo una mezcla más fluida que permitió introducirlo en la jeringuilla con más facilidad y se dejó cinco minutos para que se espesara al enfriarse dentro de esta antes de comenzar con la impresión.

En la imagen 33 se pueden ver las estructuras resultantes de diferentes pruebas de impresión.

**Imagen 33:** Resultado prueba impresión 3D.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Debido a esto se pudo observar algunas imperfecciones en la extrusión ya que la presión no fue constante y en ocasiones se crearon burbujas de aire que impidieron la extrusión de hilos continuos.

Durante el proceso puedo comprobarse la fluidez del material, así como en la imagen 25 pueden apreciarse las capas superpuestas, lo que confirma la capacidad del material de apilarse.

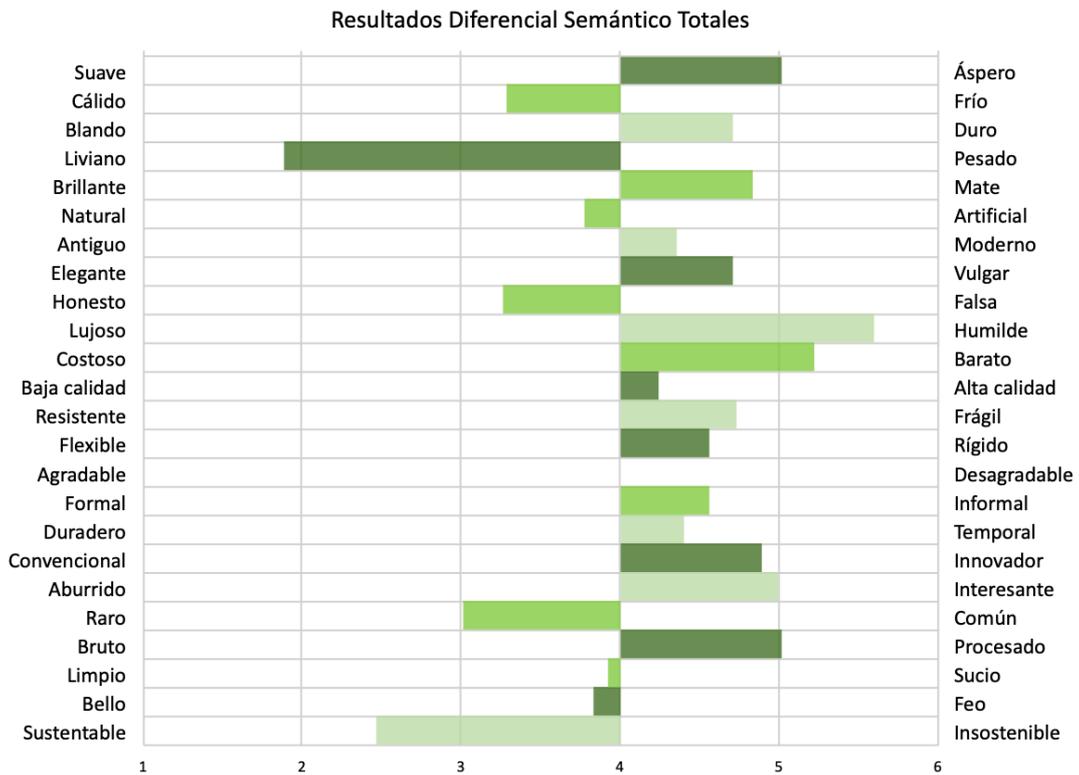
Tras este proceso de prueba de impresión 3D donde se comprobaron las características y propiedades del material definidos en los ensayos desarrollados con la manga pastelera, en adición con lo analizado en pruebas anteriores, se pudo definir diferentes parámetros de la impresión que se desarrollan a continuación:

- Diámetro de la boca de impresión de 5 mm.
- Material de base de impresión plástico u otro deslizante.
- Limitaciones formales en cuanto a la dificultad para reproducir ángulos muy cerrados.
- Sin límite de número de capas con secado entre estas.
- Buena fluidez y secado relativamente rápido.
- Velocidad de impresión de un hilo de 10 cm de largo de 10 segundos.
- Altura del hilo extruido de 4 mm.
- Anchura del hilo extruido de 4 mm.

### 3.1.7 Resultados Análisis perceptual

Se muestran en la siguiente figura los resultados totales del análisis perceptual que se realizó mediante el método de diferencial semántico.

**Figura 17:** Gráfico de resultados del diferencial semántico.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Los atributos definidos con mayor valoración son *Humilde, Barato, Liviano* y *Sustentable*, fueron aquellos que obtuvieron más de un punto.

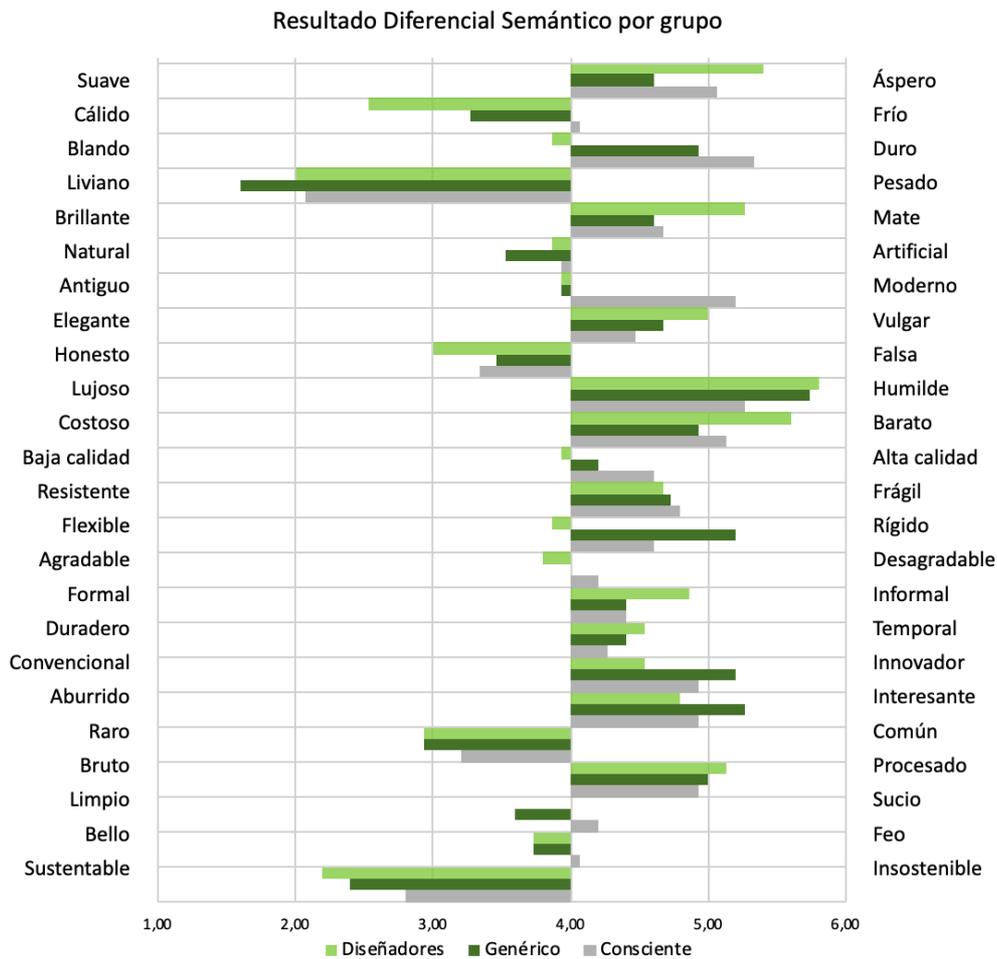
Les siguen *Áspero, Cálido, Duro, Mate, Vulgar, Honesto, Frágil, Rígido, Informal, Innovador, Interesante, Raro* y *Procesado*, definidos con una puntuación menor que uno.

Por otro lado, los atributos que fueron débilmente definidos fueron *Natural, Moderno, Alta calidad, Temporal, Limpio, Bello*.

En cuanto a los atributos *Agradable/Desagradable*, resultó un valor neutro por lo que no se definió ninguno de ellos.

En la figura 18 se muestran los resultados por grupos del diferencial semántico. En verde claro se muestran los resultados del grupo de graduados en diseño industrial, en verde oscuro los usuarios genéricos y en gris los consumidores conscientes.

**Figura 18:** Gráfico de resultados del diferencial semántico.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

El grupo de diseñadores definió con mucha diferencia los atributos *Áspero*, *Cálido*, *Mate*, además, al contrario que los otros grupos, escogieron los atributos *Blando*, *Baja calidad*, *Flexible*. Estos son términos técnicos y podría deberse a que este grupo tiene mayor experiencia con materiales por lo que se mostraron esos resultados tan contundentes. Además, se muestran con mayor puntuación que en los otros grupos los términos *Vulgar* e *Informal*, lo cual puede deberse a que, tal y como se ha puntualizado, este grupo tiene experiencia con materiales y suelen analizar acabados y apariencia.

En el grupo de usuarios genéricos destacan los atributos *Natural*, *Rígido* y *Limpio*, términos menos técnicos en los que hubo mucha diferencia respecto a los otros grupos. Este grupo de usuarios no tienen contacto con nuevos materiales por lo que resultó una tendencia muy alta para los siguientes términos *Innovador*, *Interesante* y *Sustentable*.

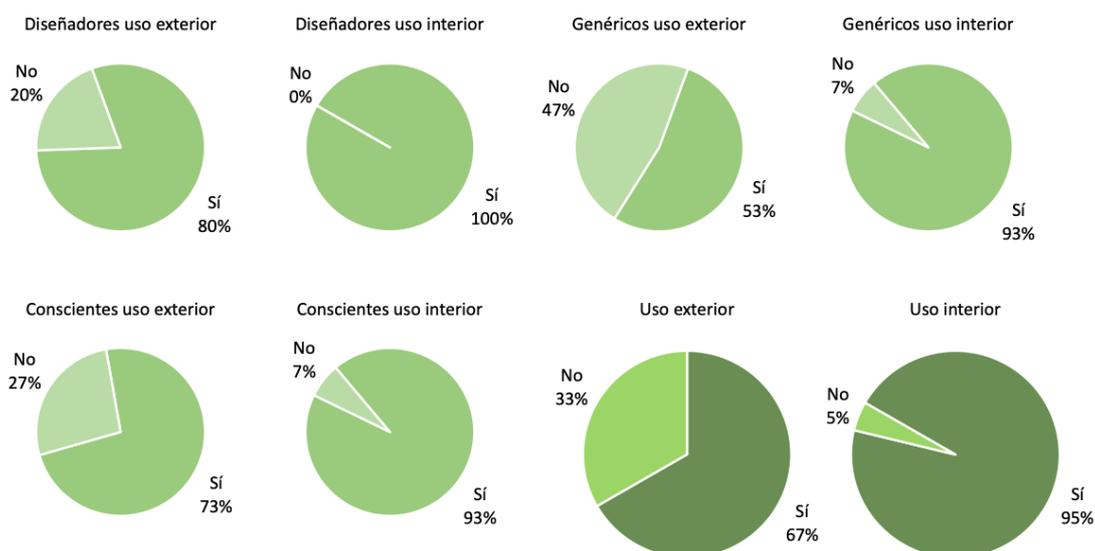
Entre las respuestas del grupo de usuarios conscientes destacaron los términos *Moderno* y *Alta Calidad* con mucha diferencia respecto a los otros grupos, además consideraron que era menos vulgar.

Hay unanimidad en los términos *Áspero*, *Liviano*, *Mate*, *Natural Vulgar*, *Honesto*, *Humilde*, *Barato*, *Frágil*, *Informal*, *Temporal*, *Innovador*, *Interesante*, *Raro*, *Procesado* y *Sustentable*.

Este análisis permite definir con mayor exactitud cómo es percibido el material. Que sea percibido como un material sustentable concuerda con la naturaleza y el objetivo de este. Respecto a la apariencia del material, se considera *Honesto*, *Humilde* y *Barato* términos que concuerdan con su composición, sin embargo, debido a que los atributos *Limpio* y *Bello* tuvieron una tendencia muy baja, incluso negativa en el caso del grupo de consumidores conscientes, podría plantearse en un proyecto futuro un estudio acerca de su terminación estética.

A la pregunta realizada acerca de si consideran que el material puede ser usado en el exterior y en el interior, un 67% y 95% respondió que sí respectivamente. Se muestran a continuación los gráficos de las respuestas de cada grupo. Todos aceptaron casi de forma unánime su uso en el interior, sin embargo, su uso exterior fue el más cuestionado sobre todo por el grupo de usuarios genéricos.

**Figura 19:** Tabla de resultados de usos exteriores e interiores.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## 3.2 Estudio de aplicaciones en el diseño

### 3.2.1 Usuario y objetivo de este desarrollo

Este material cuenta con unas características muy concretas, es un material desarrollado a base de desechos, su elaboración es casera y además se involucra la impresión 3D como tecnología de producción.

Para la definición del usuario y el objetivo del desarrollo del material en este proyecto se realizó un cuadro resumen de los posibles usuarios e implicaciones de esas aplicaciones.

Este proyecto se basa en una serie de criterios de sustentabilidad definidos anteriormente entre los que se encuentran: utilización de recursos naturales y renovables, uso de materias locales, utilización de residuos como materias primas, selección de materias no tóxicas o nocivas, reducción de uso de insumos energéticos o utilización de fuentes renovables, durabilidad (reducción del tiempo de eliminación del material), uso de materiales biodegradables y reciclaje/reutilización o compostaje final del producto.

Visión Humana definió cuatro tipos de consumidores:

- Consumidor apático, el cual esta menos vinculado con el consumo y con aquellos ejercicios de consciencia en el momento de la compra.
- Consumidor comunitario, este tipo de consumidor refleja en sus actos de consumo el apoyo que realizan algunas marcas que apoyan causas sociales y se comprometen con la comunidad.
- Consumidor medioambientalista - nacionalista, este consumidor tiene mayor preocupación por marcas nacionales y con consciencia medioambiental.
- Consumidor consciente, este usuario desarrolla un consumo responsable, es decir, tiene mayor consciencia en sus hábitos diarios con el ambiente y consigo mismo.

**Fuente:** Visión Humana, 2016.

Estos criterios fueron considerados durante el desarrollo de este proyecto, asimismo son criterios que tienen que encajar y concordar con la filosofía de consumo del usuario de este material por lo tanto el usuario de este material desarrollado será el considerado “consumidor consciente”.

Este consumidor coincide con el proyecto en la inquietud por la sostenibilidad. El consumidor considerado responsable está informado y tiene hábitos de consumo en consecuencia a su filosofía, la cual implica que un cambio personal puede tener una gran repercusión en cuanto a la disminución del impacto negativo generado por este.

Este consumidor se esfuerza en incorporar hábitos a su día a día como el reciclaje, el ahorro energético y se preocupan por escoger productos que sean respetuosos con el medio ambiente y con todo ser vivo.

Este usuario además es considerado creativo y presenta un deseo de aprender y experimentar nuevos retos (Avaria et al., 2013).

En cuanto al método de producción y la tecnología utilizada, este usuario tendría cierta inquietud por la impresión 3D, sentiría cierta atracción por el diseño.

Además, este material es de elaboración casera por lo que el usuario estaría relacionado con la cultura “DIY” (hazlo tú mismo), movimiento cultural cuyo objetivo es la generalización de manufactura de productos (Barajas, 2014).

Este movimiento pone en valor el desarrollo casero de productos y además de tener aportes en diferentes ámbitos como en las manualidades o la música, tiene también un impacto ecológico.

El usuario que sigue esta corriente tiene preferencia por la reutilización de recursos ya que el malgasto de estos tiene un impacto negativo en el medio ambiente, la compra excesiva de productos que se acaban desechando para comprarlos de nuevo supone un gran desperdicio. Esta corriente asegura que una gran parte de las necesidades de un individuo pueden resolverse a través del “reciclaje creativo” (Barajas, 2014).

Además, este movimiento tiene en cuenta el valor de los cultivos caseros, teniendo en cuenta que la materia prima del material desarrollado es el residuo de la papa, podría ser una opción de fuente de obtención de la materia prima desde sus inicios.

Esta cultura no solo considera lo económico que resulta desarrollar ciertos productos de forma autónoma, sino que tiene como objetivo concienciar del consumismo de la sociedad actual, pretende desarrollar una consciencia ecológica y política que haga replantear el modo de consumo de cada individuo (Barajas, 2014).

Por lo tanto, el usuario que consumirá el material desarrollado en este proyecto es un consumidor con hábitos conscientes, inquietud por la sostenibilidad de su comportamiento, así como estará influenciado por la cultura DIY y estará vinculado o sentirá curiosidad por el diseño y el desarrollo de la impresión 3D.

### 3.2.2 Propuestas de aplicaciones en el diseño

En la encuesta realizada sobre la percepción del material se incluyó una pregunta de respuesta abierta acerca de posibles aplicaciones en el diseño, a continuación, se muestran las respuestas relevantes de dicha encuesta dividiendo en los diferentes grupos encuestados.

**Figura 20:** Propuestas de aplicaciones del material.

Propuestas de los encuestados sobre aplicaciones del material			
Mobiliario de pequeño tamaño	Productos para jardinería como macetas	Base de lámparas y otros elementos decorativos	Elementos de escritorio y de decoración
Figuras decorativas	Cubertería desechable	Juguetería	Cajas y recipientes contenedores
Cuenco para depositar las llaves	Packaging biodegradable	Cenicero	Recipiente contenedor de residuos

**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

Las aplicaciones recogidas en el cuadro anterior fueron propuestas por los encuestados, sin proporcionarles información acerca de su composición o sus características físicas y mecánicas. Para la orientación de posibles aplicaciones futuras se realizará una recolección de los factores estudiados en este proyecto.

## CONCLUSIONES

Este proyecto tenía como propósito desarrollar un material, basado en residuos de papa, que fluyera y pudiera ser utilizado en impresión 3D además de que tuviera un bajo impacto ambiental. El objetivo general formulado se cumplió mediante el estudio y confirmación de cada uno de los objetivos específicos definidos.

El primer objetivo fue *“Identificar las materias primas relevantes y definir las cualitativa y cuantitativamente mediante un proceso de investigación contextual”*.

Este objetivo se cumplió definiendo el almidón de la cáscara de papa como materia prima basando la decisión en la revisión de estudios similares.

Se definieron cualitativamente gracias a la definición de su composición y comportamiento y cuantitativamente tras realizar pruebas de extracción de almidón y definir su estado fresco como óptimo, así como la necesidad de utilizar grandes cantidades de residuo ya que de este tan solo el 4,9% es almidón.

El segundo objetivo fue *“Desarrollar un material basado principalmente en la cáscara de papa desechada y evaluar las características físicas y mecánicas y su comportamiento ante agentes externos”*.

Se logró desarrollar un material basado en el almidón de la cáscara de papa residual en adición de agua, vinagre y glicerina.

Además, se realizaron ensayos físicos de densidad, absorción de agua e hinchamiento, ensayos mecánicos de flexión y tracción y se sometió al material a agentes externos por medio de un ensayo de biodegradabilidad y de envejecimiento natural.

El tercer y último objetivo fue *“Comprobar la implementación del material basado en la cáscara de papa desechada en la impresión 3D”*.

Tras realizar un estudio sobre el comportamiento del material ante un proceso de extrusión por medio de una manga pastelera y determinar su método de secado se comprobó la utilización del material desarrollado con la impresora modificada para ello perteneciente al proyecto “FONDART” llamado “Investigación y desarrollo de un sistema open source de prototipado 3D para materiales biobasados” cuyo número de folio es 531807.

Se comprobó con éxito la posibilidad de impresión 3D con el material gracias a su fluidez además de su capacidad de apilarse.

Además de los objetivos definidos, también se cumplieron los criterios de sustentabilidad que se especificaron para el desarrollo de este material.

La materia prima del polímero desarrollado es un residuo cuya fuente es natural y renovable y de desarrollo local. Está compuesto por almidón de papa, glicerina, agua y vinagre por lo que no emite sustancias tóxicas para la salud o el medio ambiente.

Se ha optimizado la utilización de energía y material gracias a la tecnología de la impresión 3D. Finalmente, su biodegradabilidad del 47,1% en 30 días, confirma el cumplimiento de este factor, así como la poca durabilidad de este material en el medio ambiente.

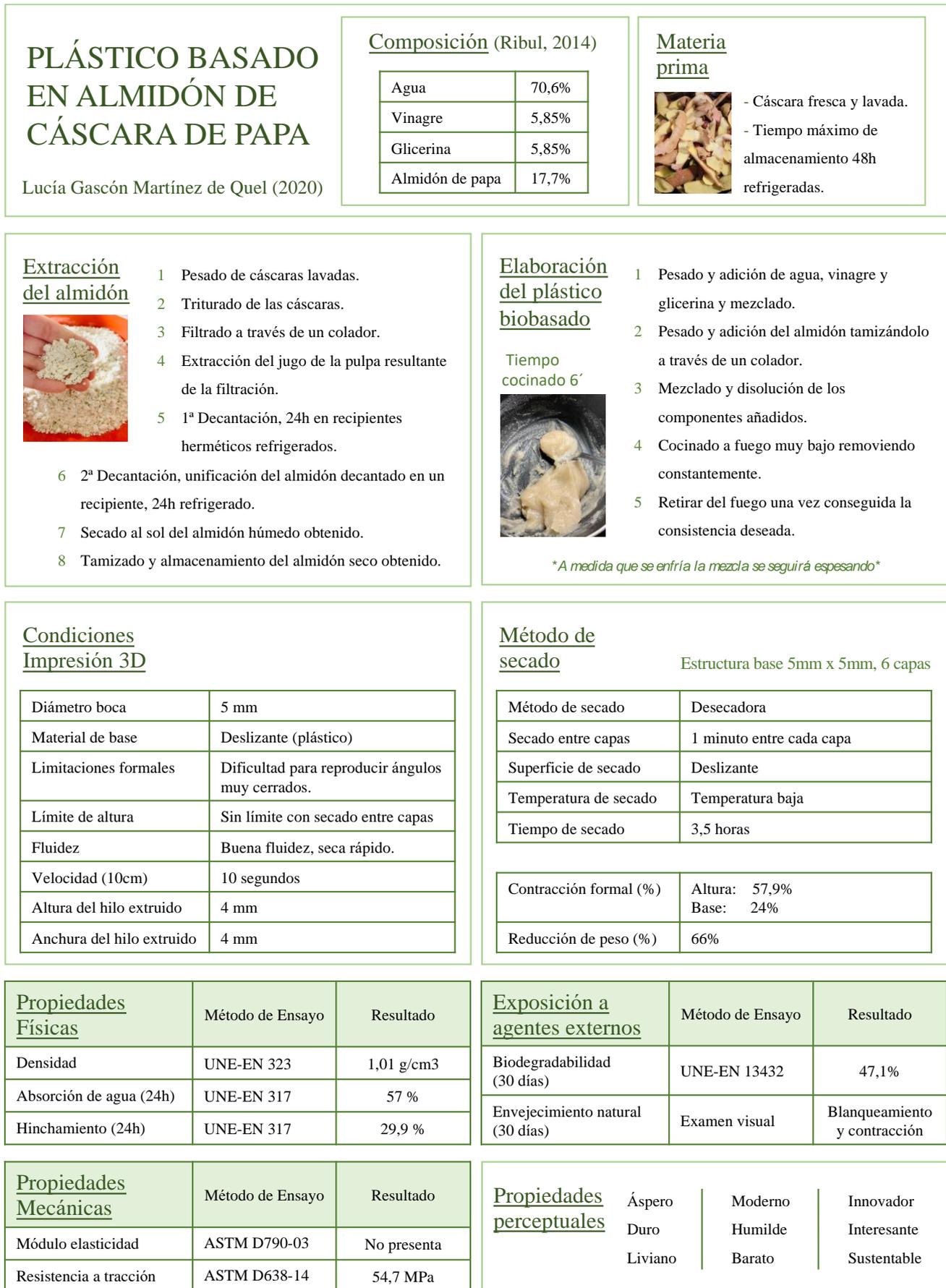
Como resultado del estudio realizado se muestra a continuación un cuadro resumen en el que se recoge la información definida durante este proyecto.

En dicho cuadro se define:

- Composición del material y materia prima utilizada.
- Método de extracción del almidón.
- Proceso de elaboración del bioplástico.
- Condiciones de impresión 3D tales como el diámetro de la boca, material de base, limitaciones formales, límite de número de capas, nivel de fluidez, velocidad de impresión, altura y anchura del hilo extruido.
- Método de secado junto con la temperatura, el tiempo de secado, contracción formal y reducción de peso.
- Propiedades perceptuales relevantes.
- Propiedades físicas de densidad, absorción de agua e hinchamiento.
- Propiedades mecánicas de flexión y tracción.
- Resultados de exposición a agentes externos tras ensayos de biodegradabilidad y envejecimiento natural

Este cuadro tiene como objetivo definir el método de trabajo del material, sus condiciones y características para orientar el desarrollo de posibles aplicaciones en el diseño en proyectos futuros.

**Figura 21:** Cuadro resumen sobre el material.



**Realizado por:** Lucía Gascón, 2020.

## REFERENCIAS

- 3DNATIVES. (2019). Guía completa: el filamento PLA en la impresión 3D. Retrieved 29/10/2020 from <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>
- 3DNATIVES. (2020). Guía completa: plásticos en la impresión 3D. Retrieved 29/10/2020 from <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>
- ABAX3D. (2020). Filamento PLA. ¿Conoces su historia y características? Retrieved 24/10/2020 from <https://abax3dtech.com/2020/10/19/filamento-pla-conoces-su-historia-y-caracteristicas/>
- UNE-EN 317:1994 - Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. , (1994b).
- UNE-EN 323:1994 - Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad., (1994d).
- UNE-EN 13432 - Packaging. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging, (2000).
- ALARCÓN, A., ÁLVAREZ, S., FREIRE, J., GALARZA, F., & SÁNCHEZ, C. (2013). Elaboración de plástico biodegradable utilizando fécula de papa. Escuela superior politécnica de Chimborazo].
- ALCÁNTARA, V. (2018). Estudiantes desarrollan bioplástico con cáscara de papa. Retrieved 22/05/2020 from <http://www.empaque.com/temas/Estudiantes-desarrollan-bioplastico-con-cascara-de-papa+126809>
- ALEKSEJEVA, J. (2018). Food for Thought. [https://issuu.com/jekaterinaaleksejeva/docs/sdu\\_design\\_foodforthought\\_24june201](https://issuu.com/jekaterinaaleksejeva/docs/sdu_design_foodforthought_24june201)
- ALZATE, Á., MAZZEO, M., & MARÍN, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos por cosecha del plátano dominico hartón (Musa Aab Simmonds).
- AMBIENTA. (2007). I+D+I: Bolsas de Plástico 100% Biodegradables. Ambianta, 67, 2. <http://www.sphere-spain.es/node/59>
- ARANDA USÓN, A., & ZABALZA BRIBIÁN, I. (2010). Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- ARAUJO, C., RINCÓN, A., & PADILLA, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de Dioscorea bulbifera L. Caracterización del almidón nativo de Dioscorea bulbifera L.
- ARISTIZÁBAL, J., & SÁNCHEZ, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.
- AROS, M., NARVÁEZ, G., & AROS, N. (2009). El diferencial semántico para la disciplina del diseño una herramienta para la evaluación de productos.
- ARUP. (2017). The urban Bio-Loop Growing, making and regenerating.
- ASHBY, M., & JOHNSON, K. (2002). Materials and Design. Butterworth-Heinemann.

- ASTM D790-03 - Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials: American Society for Testing and Materials International., (2002a).
- ASTM D638-14 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics: American Society for Testing and Materials International., (2002b).
- AVARIA, J., MARCELO ANTONIO, CATALÁN CATALÁN, L. C., & SAIEG GARCÍA, J. (2013). Consumo consciente y responsable en Chile. Características y segmentación de los perfiles de consumidores responsables en Chile.
- BADUI, S. (2006). Química de los alimentos (E. Quintanar, Ed.). Pearson.
- BALBOA, C., & DOMÍNGUEZ, M. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3.
- BARAJAS, F. (2014). La cultura del DIY, o el “hazlo tú mismo”. Retrieved 11/11/2020 from <https://codigoespagueti.com/noticias/cultura-diy/>
- BIOPLASTICS, E. (2018). Bioplastics. Retrieved 24/10/2020 from <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- BRAUNGART, M., & MCDONOUGH, W. (2005). Cradle to cradle (De la cuna a la cuna). McGraw Hill.
- CALVO, M. Estructura del almidón.  
<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>
- CASTELLANOS, Ó., PARDO, M., RIVERA, P., & GONZÁLEZ, G. H. (2004). Estudio cinético de la hidrólisis de almidón de papa. Revista Ingeniería e Investigación. [https://www.researchgate.net/publication/305776663\\_Estudio\\_cinetico\\_de\\_la\\_hidrolisis\\_enzimatica\\_de\\_almidon\\_de\\_papa](https://www.researchgate.net/publication/305776663_Estudio_cinetico_de_la_hidrolisis_enzimatica_de_almidon_de_papa)
- CENEM. (2016). Mercado de la papa en Chile. Retrieved 08/07/2020 from <http://cenem.cl/newsletter/octubre2016/detalle-30.php>
- CERVANTES TORRE-MARÍN, G., SOSA GRANADOS, R., RODRÍGUEZ HERRERA, G., & ROBLES MARTÍNEZ, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable.
- CHARRO, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata [Universidad central del Ecuador].
- CHÁVEZ, D. (2011). Prueba y caracterización de plásticos.
- CIP. (2015). Dato y cifras de la papa. Retrieved 18/07/2020 from <https://cipotato.org/es/lapapa/dato-y-cifras-de-la-papa/>
- DANKAR, I. (2018). Study and Characterization of Microstructural and Physio-chemical properties of potato products for 3D Food Printing
- DOMÍNGUEZ-COURTNEY, M. F., & JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M. T. (2017). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Retrieved 27/07/2020 from <https://tsia.udlap.mx/peliculas-comestibles-formuladas-con-polisacaridos-propiedades-y-aplicaciones-2/>

- DURÁN V., J. A., MORALES G., M. A., & YUSTI L., R. (2005). Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad mbra 383. Revista Científica Guillermo de Ockham, 3, 8.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1053/105316854007.pdf>
- EMAÚS. Consumo consciente y responsable. Retrieved 02/10/2020 from <https://www.emaus.com/ambitos-de-actuacion/consumo-consciente-y-responsable#:~:text=Entendemos%20por%20Consumo%20Consciente%20y,las%20empresas%20que%20lo%20elaboran.>
- FAO. (2008). Año internacional de la Papa. Retrieved 09/07/2020 from <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>
- FROSCHE, R. A. (1992). Industrial ecology: A philosophical introduction.
- GARCÍA, A. V. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz.
- GFN. (2020). Día de la sobrecarga de la Tierra. Retrieved 14/10/2020 from <https://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>
- GÓMEZ, D. P. (2013). Desarrollo de bioplásticos a partir de subproductos agroalimentario con aplicaciones en envases y matrices de difusión Universidad de Huelva].
- GUADRÓN, E. N. (2013). Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (Musa sp. Variedad Cuadrado), para su uso en la industria de alimentos Universidad de El Salvador].
- GUAMÁN, J. M. (2019). Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial Escuela superior politécnica de Chimborazo].
- GUARDADO, E. Almidón de los cereales nativos y modificados: propiedades y aplicaciones en la alimentación.
- HANSELL, H. (2017). BIOMatters: A New Age of Biosynthetic-Technology in the Textile and Apparel Industry.
- IBARRA, B. (2017). Cómo realizar bioplástico a base de papa. Retrieved 11/05/2020 from <https://www.youtube.com/watch?v=uMczFM4dJrw>
- IMPRESIONI3D. (2018). Ventajas de la impresión 3D. Retrieved 30/10/2020 from <https://www.impresioni3d.com/en-que-consiste-el-prototipado-3d/>
- IMPRESORAS3D. (2018). Filamento PLA: consejos, características y mucho más. Retrieved 30/10/2020 from <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/>
- INIA. (2017). Manual del cultivo de la papa en Chile.
- INIA. (2020). Variedades de papa.
- JIMÉNEZ RAMOS, E., & MARTÍNEZ DE LA CRUZ, S. (2016). Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (Manihot esculentum) variedad guayare Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

- KWONG, O.-Y. (2011). Bio-Plastic Handbook.
- LAMBIS-MIRANDA, H. A., HERNÁNDEZ, F., MORALES, Y., & MARÍN, L. F. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano.
- LESZCZYNSKI, L. . (1989). Potato Science and Technology.
- LÓPEZ, Á., RIVAS, J., LOAIZA, M., & SABINO, M. (2010). Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (L.vannamei). Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 25.
- LÓPEZ ENRÍQUEZ, D. F., CERÓN CÁRDENAS, A., OSORIO MORA, O., CHECA CORAL, O. E., & VILLADA CASTILLO, H. S. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche.
- MARTÍNEZ, J. J. (2014). Estructura y función del almidón, el glucógeno y la celulosa.
- MEDIA, I. (2020). Patata, Solanum Tuberosum / Solanaceae. Retrieved 20/09/2020 from <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Presentacion-Patata.html>
- MEDINA, C., PAREDES, A., RODRÍGUEZ, M. E., MORENO, M., BELÉN CAMACHO, D., GARCÍA, D., & OJEDA, C. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango.
- MEDINA, J. A., & SALAS, J. C. (2008). Caracterización morfológica del gránulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución.
- MELIAN, D. E. (2010). Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales Universidad austral de Chile].
- MEXPOLÍMEROS. Plásticos resistentes a radiación UV. Retrieved 20/09/2020 from <https://www.mexpolimeros.com/radiaci%C3%B3n%20uv.html#:~:text=Los%20rayos%20ultravioleta%20pueden%20afectar,Amarilleamiento%20de%20la%20superficie>
- MOLINA, J. (2016). Desarrollo de un material compuesto basado en carozo de durazno y polipropileno para aplicaciones constructivas Universidad de Chile].
- MORENO BUSTILLOS, Á. I., HUMARÁN SARMIENTO, V., BÁEZ VALDEZ, P., BÁEZ HERNÁNDEZ, G. E., & LEÓN VILLANUEVA, A. (2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente.
- MORENO, C. (2019). “CUERO VEGETAL” Material textil no tejido basado en fibras de corteza de Eucalyptus Globulus para aplicaciones de diseño de indumentaria Universidad de Chile].
- MUÑOZ, L. (2019). Valorización del carozo de durazno para el desarrollo de un material compuesto sostenible y su potencia aplicación Universidad de Chile].
- NOTICIAS, E. B. D. (2019). Chile y sus 211 variedades de papa. <https://presslatam.cl/2019/10/chile-y-sus-211-variedades-de-papa/>
- ODEPA. (2008). Boletín de la papa. <https://www.odepa.gob.cl/rubros/papas-y-tuberculos>

- OJEDA, M. (2008). Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), Papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) y Maíz (*Zea mays* L.).
- ONU. (1987). Nuestro futuro común: Informe Brundtland.
- ORDEN, S., GOLDBERG, M., QUARTINO, R., MASCARINI, L., LANDINI, A., MALLEVILLE, H., & BOTTINI, L. (2000). Comparative study between natural exposition trial and accelerated aging of polyethylene films for greenhouses.
- OSGOOD, C. E., SUCI, G. J., & TANNENBAUM, P. H. (1957). La medida del significado (J. Seoane & J. Bernia, Eds.). Gredos.
- PAPACHILE. (2017). Cómo usar la piel de la papa como abono. Retrieved 18/05/2020 from <https://www.papachile.cl/como-usar-la-piel-de-la-patata-como-abono/>
- PARODI, D. (2016). Desarrollo de un material compuesto biodegradable a partir de la utilización del residuo cáscara de nuez [Universidad de Chile].
- PASCUAL, A. C. (2011). Determinación de la biodegradabilidad y compostabilidad de los materiales plásticos.
- PEFAUR, J. (2017). EL mercado de la papa temporada 2016/2017: octubre de 2017.
- PEINADO, M. (2015). Estudio de la biodegradabilidad y desintegración de películas a base de almidón y PVA que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas [Universidad Politécnica de Valencia].
- PISTOFIDOU, A. (2017). Los secretos del bioplástico.
- PRADA, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa Bogotá, 180-192.
- PRIMOR. (2020). Entrevista a trabajador de la empresa de papas Primor [Interview]. Rancagua.
- QUIMINET. (2012). Los mejores usos y aplicaciones para la fécula de papa. Retrieved 09/07/2020 from <https://www.quiminet.com/articulos/los-mejores-usos-y-aplicaciones-para-la-fecula-de-papa-2877776.htm>
- RECICLARIO. (2020). Cáscara de papa, ¿es reciclaje? Retrieved 12/11/2020 from <http://reciclario.com.ar/compostable/cascara-de-papas/>
- REIMOND. (2002). Introducción a la Química de Los Polímeros. Reverte
- REMA. (2019). Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente.
- RIBUL, M. (2014). Recipes for Material Activism.
- ROGNOLI, V., & OSTUZZI, F. (2019). Open-Ended Design. Local Re-Appropriations Through Imperfection.
- RUIZ, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.

- SAUERWEIN, M., KARANA, E., & ROGNOLI, V. (2017). Belleza revivida: investigación sobre la apreciación estética de los materiales para valorizar los materiales de los desechos.
- SIERRA ROMERO, A., SOLANO SANTIAGO, F., & VALDERRAMA VÁZQUEZ, J. E. (2016). Elaboración de bioplástico a partir del almidón presente en papas.
- TÖRNQVIST, P. (2018). Potato Plastic.
- VAN WIJK, A., & VAN WIJK, I. (2015). 3D Printing With Biomaterials Towards a Sustainable and Circular Economy IOS Press.
- VARGAS, G., MARTÍNEZ, P., & VELEZMORO, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosa*) y su modificación química por acetilación.
- VERSINO, F., & GARCÍA, M. A. (2018). Materiales eco-compatibles reforzados a base de almidón de mandioca para aplicaciones agronómicas. *Revista Materia*, 23, 11.
- VEZZOLI, C., KOHTALA, C., SRINIVASAN, A., & DIEHL, J. C. (2014). Product-Service System Design for Sustainability. Greenleaf.
- VILADRICH, J. (2014). Bioplástico - Herramientas y recetas.
- VILLARROEL, P., GÓMEZ, C., VERA, C., & TORRES, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e interese fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45.
- VISIÓN HUMANA. (2016). Estudio Consumidor Consciente ¿Qué tipo de grupos podemos detectar según la actitud de compra? Retrieved 11/11/2020 from <http://visionhumana.cl/estudio-imagen-y-posicionamiento-de-marcas-de-antofagasta-las-particularidades-del-consumidor-antofagastino/>
- VISIÓN HUMANA. (2020). Consumidor Consciente de Chile: ¿Quién es? ¿Qué piensa? ¿Qué valora? Retrieved 11/11/2020 from <http://visionhumana.cl/consumidor-consciente-de-chile-quien-es-que-piensa-que-valora/>
- WECHSLER, A. (2013). Sustainable Particleboards: Renewable Building Materials from Agricultural and Forestry By-products.