

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D' ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL**  
**MEDI NATURAL**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**Trabajo Final de Grado**  
**Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos**

---

**IMPRESIÓN 3D DE CREMA DE  
ALMENDRAS**

---

**Alumna:** Paula Blasco Bell  
**Tutor académico:** Javier Martínez Monzó  
**Curso Académico:** 2019-2020

**Valencia, Diciembre de 2020**

# IMPRESIÓN 3D DE CREMA DE ALMENDRAS

## RESUMEN

La tecnología de impresión 3D en el sector alimentaria permite convertir tintas imprimibles en la creación de diseños con una geometría compleja de diferentes tamaños, permitiendo obtener alimentos nutricionalmente personalizados. Es por esto que la tecnología 3D presenta un alto potencial para la innovación alimentaria. Este campo es muy reciente y se encuentra en vías de desarrollo, sin embargo, se pueden establecer como factores clave las características del producto y las condiciones de impresión.

En este trabajo se estudia la creación de una tinta imprimible creada a base de almendras e impresa mediante una impresora de extrusión con el modelo "Paste Extruder". En una primera etapa, se desarrollan formulaciones hasta obtener la imprimibilidad de la tinta, sobre la que se realiza el diseño experimental. Posteriormente, se lleva a cabo el diseño y se imprimen estas tintas, con el fin de hallar la composición con una mayor capacidad y calidad de impresión. Para ello, se realiza un análisis de las imágenes y se evalúan las características texturales de las masas. Estas determinaron que los experimentos deberían volverse a realizar por falta de evidencia estadística en los resultados.

**PALABRAS CLAVE:** impresión 3D de alimentos, crema de almendras, variables de impresión, tintas imprimibles, características texturales.

**Alumna:** Paula Blasco Bell

**Localidad y fecha:** Valencia, Diciembre 2020

**Tutor académicos:** Javier Martínez Monzó

# IMPRESSIÓ 3D DE CREMA D'AMETLLES

## RESUM

La tecnologia d'impressió 3D en el sector alimentari, permet convertir tintes imprimibles en la creació de dissenys amb una geometria complexa de diferents grandàries, permetent obtenir aliments nutricionalment personalitzats. És per això que la tecnologia 3D presenta un alt potencial per a la innovació alimentària. Aquest camp és molt recent i es troba encara en via de desenvolupament, no obstant això, es poden establir com a factors clau les característiques del producte i les condicions d'impressió.

En aquest treball, s'estudia la creació d'una tinta imprimible creada a base d'ametlles i impresa per una impressora d'extrusió amb el model "Paste Extruder". En una primera etapa, es desenvolupen formulacions fins a obtenir la imprimibilitat de la tinta, sobre la qual es realitza el disseny experimental. Posteriorment, es du a terme el disseny i s'imprimeixen aquestes tintes, a fi de trobar la composició amb la major capacitat i qualitat d'impressió. Per a això, es realitza un anàlisi de les imatges i s'avaluen les característiques texturals de les masses. Aquestes van determinar que els experiments haurien de tornar-se a realitzar per falta d'evidència estadística en els resultats.

**PARAULES CLAU:** impressió 3D d'aliments, crema d'ametlles, variables d'impressió, tintes imprimibles, característiques texturals.

## 3D PRINTING ON ALMONDS CREAM

### ABSTRACT

3D printing technology allows creating, in the food sector, printable inks to create design with complex geometry of different sizes, allowing us to obtain nutritionally personalized food. This are the main reasons why 3D technology presents a high potential for food innovation. This field is very recent and in continuous development, however, the characteristics of the product and the printing conditions can be established as key factors.

In this work, the creation of a printable ink based in almonds and printed by an extrusion printer, with the "Paste Extruder" model is studied. In a first stage, formulations are developed to obtain a printable ink, on which the experimental design is carried out. Subsequently, the design is carried out and these inks are printed, in order to find the composition with the greatest capacity and printing quality. To analyze it, an analysis of the images has been carried out and the textural characteristics of the masses have been evaluated. These determined that the experiments should be carried out again due to the lack of statistical evidence in the results.

**KEY WORDS:** 3D food printing, almond cream, printing variables, printable inks, textural characteristics.

# ÍNDICE GENERAL:

<b>1.INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. <i>La almendra</i>	1
1.1.1 Características, composición y usos	1
1.2. <i>Fabricación aditiva o Impresión 3D</i>	2
1.2.1. Tipos de impresión 3D en la industria alimentaria	2
1.2.1.1. Extrusión	2
1.2.1.2. Inyección de tinta	2
1.2.1.3. Deposición aglutinante de polvo	3
1.2.2.4. Factores críticos para el diseño de impresión 3D	3
1.2.3. Estudios previos	3
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Objetivo general</i>	4
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
<b>3. PLAN DE TRABAJO</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
4.1 <i>Materias primas</i>	6
4.2. <i>Prediseño</i>	6
4.2.1. Fabricación de la harina de almendra	6
4.2.2. Determinación analítica de la humedad de la harina de almendras	7
4.2.3. Fabricación de la crema de almendras	7
4.2.4. Proceso de impresión	7
4.3. <i>Diseño experimental</i>	9
4.4. <i>Caracterización de la textura</i>	10
4.5. <i>Análisis de imagen</i>	10
4.6. <i>Análisis estadístico</i>	12
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>13</b>
5.1. <i>Cálculo de la humedad de la harina</i>	13
5.2. <i>Caracterización textural de las masas</i>	13
5.2.1 Análisis estadístico de la fuerza máxima	15
5.2.2 Análisis estadístico de la fuerza media	18
5.3. <i>Análisis de imagen</i>	20
5.3.1 Análisis estadístico de las áreas de las figuras	24
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>27</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Partes de la almendra. (Prgomet I.,2017)

**Figura 2.** Biochef Vega Oil Press.

**Figura 3.** Almendra extruida por Biochef Vega Oil press.

**Figura 4.** Molinillo Taurus Minimoka Gr-020.

**Figura 5.** Harina de almendras en vaso de precipitados.

**Figura 6.** Almendras peladas.

**Figura 7.** Thermomix modelo TM31.

**Figura 8.** Crema de almendra.

**Figura 9.** Impresora comercial BCN 3D con boquilla extrusora utilizada para la impresión de crema de almendras. (Reino S.J. 2018)

**Figura 10.** Baño de recirculación de agua Heildolph rotacool chiller a 50°C.

**Figura 11.** Masa impresa durante el prediseño.

**Figura 12.** Masa impresa durante el prediseño.

**Figura 13.** Masa impresa durante el prediseño.

**Figura 14.** Texturómetro TA-XT Plus durante los análisis con la muestra.

**Figura 15.** Vista superior de la impresión de la configuración nº14,y las mediciones de ancho y largo de la figura.

**Figura 16.** Curva característica de la extrusión de la masa con una concentración de 55%almendras, 44,8% harina y 0,2% glucosa, a 40°C.

**Figura 17.** Gráfica de efectos principales para la fuerza máxima.

**Figura 18.** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la fuerza máxima.

**Figura 19.** Análisis de medias de la fuerza máxima.

**Figura 20.** Curvas características de la Muestra 10.

**Figura 21.** Curvas características de la Muestra 15.

**Figura 22.** Gráfica de efectos principales para la Fuerza media.

**Figura 23.** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la fuerza media.

**Figura 24.** Análisis de medias de la fuerza media.

**Figura 25.** Gráfica de efectos principales para el área de la base.

**Figura 26.** Configuración 12.

**Figura 27.** Configuración 17.

**Figura 28.** Configuración 18.

**Figura 29.** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del área de la base de la figura.

**Figura 30.** Análisis de medias del área de la base.

**Figura 31.** Optimización de respuesta del área.

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Formulaciones para la preparación de las masas de almendras variando el porcentaje de materias primas.

**Tabla 2.** Valores de masa expresada en gramos, de la placa de Petri con las muestras de harina.

**Tabla 3.** Valores medios de gradiente, área de compresión, fuerza máxima y fuerza media de las formulaciones a 40°C.

**Tabla 4.** Valores medios de gradiente, área de compresión, fuerza máxima y fuerza media de las formulaciones a 50°C.

**Tabla 5.** Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para la fuerza máxima.

**Tabla 6.** Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para la fuerza media.

**Tabla 7.** Valores medios de ancho, largo y área de la base de la figura para las configuraciones de 40°C.

**Tabla 8.** Imágenes de las figuras impresas a 40°C.

**Tabla 9.** Valores medios de ancho, largo y área de la base de la figura para las configuraciones de 50°C.

**Tabla 10.** Imágenes de las figuras impresas a 50°C.

**Tabla 11.** Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para el área de la base.

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1. La almendra

### 1.1.1 Características, composición y usos

El almendro (*Prunus dulcis*), pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Prunus* (Prgomet et al., 2017). Este árbol es uno de los más populares del mundo cultivado en condiciones áridas debido a su resistencia y capacidad frente a la escasez de agua y el déficit de riego. (International Nut and Dried Fruit Council, 2016). El fruto del almendro es una trima, esta se encuentra formada por un mesocarpio de color verde que posee en el interior una almendra de cáscara dura o blanda en función de la variedad que se trate. En el interior, se puede hallar un grano rodeado por la piel, de color marrón que por lo general se elimina durante el procesado industrial, en la operación de repelado (Garrido, 2007).

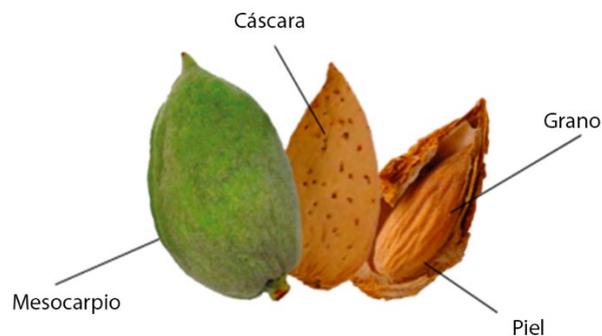


Figura 1. Partes de la almendra. (Prgomet, 2017)

Los principales productores de almendra a nivel mundial son Estados Unidos, Australia y España. (Aznar-Sánchez, Velasco, 2016) En los últimos años, ha aumentado el consumo de almendras debido a las características físico-químicas, nutricionales y sensoriales de estas frutas. (Özcan, 2011).

Las almendras contienen un 50% de lípidos, un 25% de proteínas y un 20% de carbohidratos un bajo contenido en humedad (Barreca, 2020) además de ocho de los aminoácidos esenciales; minerales como el fósforo o calcio y vitamina E, la cual ejerce un valioso papel antioxidante. Además, posee un alto contenido en fibra.

Las almendras dulces, (*Prunus amygdalus var. dulcis*) son un fruto comestible en su estado natural y utilizado como ingrediente principal en productos alimenticios manufacturados. Sin embargo, las almendras amargas (*Prunus amygdalus var. amara*) son tóxicas para el organismo dado que poseen en su interior amígdalina. Se utilizan principalmente, en la producción de extractos de sabor, donde se procesan previamente para eliminar sustancias indeseables. (Hernández, 2009 y Morales, 2017)

Los subproductos del procesado industrial de la almendra (piel, cáscara y mesocarpio) se utilizan para alimentar al ganado bovino y ovino además de ser materia prima para la obtención de energía o ingredientes endurecedores en procesos de fusión con cauchos y gomas.(Hernández, 2009).

## **1.2. Fabricación aditiva o Impresión 3D**

La impresión 3D se conoce también como fabricación aditiva. En ella, se parte de un archivo digital (modelo 3D), y se adicionan capas de un mismo material con el fin de crear un objeto tangible (Jorquera, 2016). El desarrollo de la impresión 3D ha crecido significativamente, la personalización de la masa, la libertad del diseño geométrico, la economía de bajo volumen y menos desperdicio en el proceso son los beneficios clave que la tecnología de fabricación aditiva proporciona en otros campos como la medicina, la aviación, el sector del automóvil y la arquitectura y que podrían ser ventajosas en la industria alimentaria.(Liu et al., 2018 y Holland et al., 2017)

### **1.2.1. Tipos de impresión 3D en la industria alimentaria**

En el campo de la alimentación, pueden introducirse y adaptarse diferentes técnicas con el fin de satisfacer la demanda de diseño de alimentos y procesamiento de materiales. Estas varían según si se utiliza un material líquido, en polvo o celular para imprimir. La deposición de materiales de base líquida se puede realizar mediante los procesos de extrusión e inyección de tinta. Las estructuras a base de polvo se imprimen por deposición seguida de la aplicación de una fuente de calor (láser o aire caliente) o partículas aglutinantes. Existe también la bioimpresión, que es la deposición de cultivos celulares.

Las propiedades finales relacionadas con la estabilidad mecánica de los alimentos impresos en 3D deberían coincidir con las de los procesos de fabricación convencionales. Y, en términos de textura, diseño y optimización nutricional, la impresión 3D potencialmente derrotaría los métodos tradicionales de fabricación.(Godoi et al., 2016)

#### **1.2.1.1. Extrusión**

En este método, se utiliza una boquilla móvil para extrudir un polímero de filamento de fusión en caliente de manera continua, fusionándose a la capa anterior al enfriar. Gracias a esta tecnología, un material blando formulado con ingredientes comestibles se carga en un cilindro y se extrude en capas consecutivas a través de una boquilla mediante la fuerza de un pistón. Dependiendo de los materiales utilizados en el proceso de extrusión, los mecanismos de unión pueden ocurrir por la deposición de capas controladas por las propiedades reológicas de los materiales, solidificación por enfriamiento o formación de hidrogel extrusión. (Godoi et al 2016)

#### **1.2.1.2. Inyección de tinta**

Esta se basa en la acumulación de pequeñas gotas del material depositadas por las boquillas de impresión de inyección de tinta. Generalmente funcionan con cabezales térmicos, (el cabezal de impresión se calienta eléctricamente para generar pulsos de presión que empujan las gotas desde la boquilla) o piezoeléctricos, (contienen un cristal en el interior el cabezal de impresión que crea una onda acústica para separar el líquido en gotas a intervalos regulares).(Murphy y Atala, 2014).

Las impresoras de inyección de tinta generalmente utilizan materiales de baja viscosidad; por lo que no sirven para crear una estructura alimentaria compleja. Algunos ejemplos son: siropes, mermeladas, etc.(Godoi et al., 2016)

### 1.2.1.3. Deposición aglutinante de polvo

Esta categoría se puede dividir en tres. Tienen en común que se adiciona polvo en la base: el primero es la sinterización selectiva por láser (las capas de polvo se fusionan mediante la aplicación de un láser infrarrojo), el segundo la sinterización y fusión selectiva por aire caliente y por último, la unión líquida donde se sobreimprime un aglutinante líquido sobre capas de polvo que se acumulan consecutivamente, como en la fusión dirigida (Wegrzyn, 2012).

En este trabajo, donde se trabajará con un material líquido, el tipo de impresora a utilizar será de extrusión por deposición de las capas controladas por las propiedades reológicas de los alimentos.

La elección del consumidor al comprar alimentos tiene en cuenta los factores: apariencia, sabor, coste, experiencia, conveniencia y nutrición. Tras hacer una breve recopilación de los diferentes tipos de impresión 3D, podemos afirmar que ésta es capaz de satisfacer todos estos criterios, con la fabricación de alimentos al gusto propio tanto en términos de propiedades sensoriales como nutricionales. ( Severini et al., 2016)

### 1.2.2.4. Factores críticos para el diseño de impresión 3D

En el artículo de (Godoi et al., 2016) se proponen tres factores relacionados con las propiedades de los alimentos influyentes en el diseño de las impresión 3D. La imprimibilidad es definida como la propiedad que permite alterar el material con una estabilidad dimensional , la cual puede soportar su estructura después de la deposición. La capacidad de impresión 3D basadas en líquidos, está influenciada por la viscosidad del material o sus propiedades reológicas. También puede verse afectado por las propiedades térmicas. En el caso de la impresión 3D a base de polvo, también pueden influir en propiedades como la distribución del tamaño de partícula, densidad aparente, humectabilidad y fluidez. Y la aplicabilidad: al tratarse de estructuras complejas, esta también se rige por las propiedades de los materiales. Y por último, el post-procesamiento: en un modelo teórico la construcción 3D de los alimentos deberían resistir al posprocesamiento, cómo hornear, ser hervirlo o freírlo. Para que sean resistentes, es conveniente realizar de manera adecuada la selección de materiales, con el fin de obtener unas propiedades físico-químicas, reológicas y mecánicas adecuadas.

### 1.2.3. Estudios previos

No se encuentran estudios previos sobre la imprimibilidad de frutos secos, como la almendra o el cacahuete.

Sin embargo, existen numerosos trabajos que estudian la impresión, o el efecto de las condiciones de impresión sobre las características de varios alimentos impresos como por ejemplo: snacks (Derossi et al., 2018,) puré de patata (Hamilton et al., 2018), gel de zumo de limón (Holland et al., 2018), surimi (Le Tohic et al., 2018), verduras (Liu, et al., 2018), salsas ( Severini et al., 2016) o queso procesado Yang et al., 2018). Aunque la impresión 3D haya crecido significativamente en el campo de la industria alimentaria, se puede considerar que aún se encuentra en fase de investigación y desarrollo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

En este trabajo se pretende conocer, estudiar, desarrollar y estandarizar una tinta alimentaria procesada mediante impresión 3D.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudiar el efecto de los diferentes factores sobre la procesabilidad de la impresión de una masa alimentaria y sobre la calidad de la figura obtenida.
- Analizar estadísticamente los resultados obtenidos con el objetivo de encontrar evidencia estadística suficiente como para aceptar el comportamiento de los efectos observados y la calidad de la figura impresa.
- Encontrar la configuración de factores idónea para obtener las dimensiones (calidad) buscadas de la figura impresa.
- Estandarizar el proceso de impresión 3D de extrusión.

### **3. PLAN DE TRABAJO**

El plan de trabajo y tareas específicas para conseguir los objetivos planteados son:

- Revisión bibliográfica.
- Prediseño de la fase experimental.
- Fase experimental
- Caracterización textural
- Impresión de las figuras y análisis de imagen
- Conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materias primas

La almendra nacional pelada fue proporcionada por la empresa Importaco (Valencia, España) y se utilizó glucosa Roquette Laisa España SA, Benifaió.

### 4.2. Prediseño

Fase preexperimental que tiene como finalidad conocer el comportamiento y las dificultades de los componentes durante el proceso de creación e impresión de la masa.

#### 4.2.1. Fabricación de la harina de almendra

Para la realización de la harina de almendra, se ha de separar el aceite de la parte sólida, para ello, se utiliza la prensa de aceite para Semillas "Biochef Vega Oil Press", en ella se selecciona la opción de extrusionar cacahuetes, ya que es el diámetro más similar a las almendras. El proceso se repite una segunda vez con la finalidad de optimizar el rendimiento del proceso retirando la mayor cantidad de aceite posible.



Figura 2. Biochef Vega Oil Press.



Figura 3. Almendra extruida por Biochef Vega Oil press.

Una vez se obtienen las almendras como en la *Figura 3*, se tritura en el molinillo Taurus Minimoka Gr-020 para convertir la almendra en polvo y para evitar que obtengamos partículas de gran tamaño, se pasan a través de un colador. La harina se introduce en un molinillo de cereales con el fin de obtener el grano lo más fino posible.



Figura 4. Molinillo Taurus Minimoka Gr-020.



Figura 5. Harina de almendras en vaso de precipitados.

Cabe destacar que la harina fue almacenada lejos de la luz y humedad para evitar cualquier alteración de sus propiedades físicas.

#### 4.2.2. Determinación analítica de la humedad de la harina de almendras

El contenido en agua de la harina de almendra ( $x_w$ ) se determinó mediante el método gravimétrico en una estufa a vacío (VACIOTEM, JP Selecta, España). Para ello, se colocó una muestra conocida de harina sobre una placa de Petri y permaneció durante 48h a  $70 \pm 1$  °C a vacío hasta alcanzar una masa constante. Se realizó por triplicado. Según la ecuación se calculó  $x_w$  (gagua/gproducto)

$$x_w = \frac{P_m - P_{ms}}{P_{ms}}$$

Donde:  $P_m$  es la masa en gramos de la muestra inicial menos la masa de la placa de Petri y  $P_{ms}$  es la masa en gramos de la muestra seca menos la masa de la placa de Petri.

#### 4.2.3. Fabricación de la crema de almendras

La crema de almendras está compuesta de almendra, harina de almendra y glucosa.

Primeramente, se incorporan las almendras en el procesador de alimentos multifunción Vorwerk (Thermomix, modelo TM31) a velocidad media-alta y se incrementa la temperatura a 100°C. Cada diez minutos, mezclan las almendras para asegurar una mezcla homogénea, al cabo de 1 hora, las almendras se hallan en estado líquido. Gradualmente, se va incorporando la harina hasta que la masa adquiere consistencia y un aspecto maleable. Finalmente, se añade la glucosa con una jeringuilla de tamaño pequeño gota a gota mientras la Thermomix sigue en funcionamiento, se va revisando su textura, demasiada glucosa hace de la masa un bloque sólido y compacto .



Figura 6. Almendras peladas



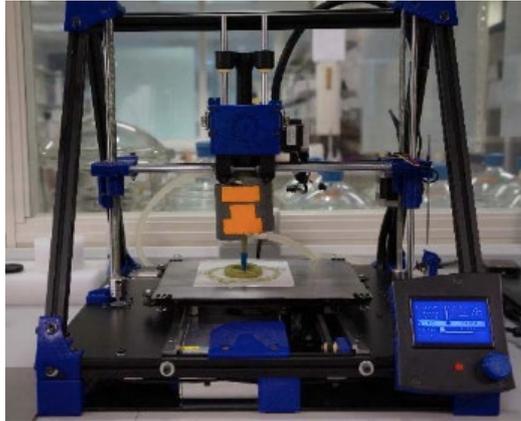
Figura 7. Thermomix modelo TM31.



Figura 8. Crema de almendras.

#### 4.2.4. Proceso de impresión

Para la impresión de las masas se utilizó la impresora comercial (BCN 3D+, BCN3D Technologies, Barcelona, España) con una boquilla extrusora(extrusora de pasta, BCN3D Technologies, Barcelona, España) mostrada en la *Figura 9*, la cual permite trabajar con alimentos. El sistema de impresión se compone de dos elementos principales, la jeringa y el sistema de posicionamiento X-Y-Z. Para imprimir, se modela una figura con el programa Thinkercad (Thinkercad, software gratuito, Autodesk, Inc., San Rafael, California, EE.UU.). A continuación, se traslada al programa Slic3r (Slic3r, software gratuito, desarrollado por Alessandro Ranellucci con la ayuda de colaboradores y la comunidad) para obtener archivos de "G-code", legibles por la impresora.



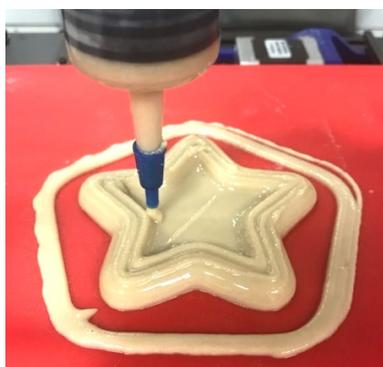
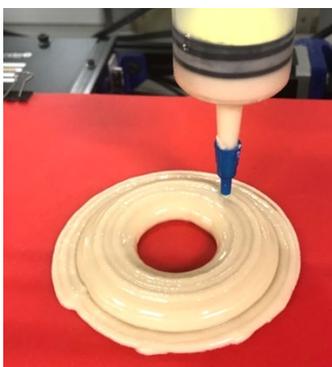
*Figura 9. Impresora comercial BCN 3D con boquilla extrusora utilizada para la impresión de crema de almendras. (Reino, 2018)*

Durante esta fase se observó que las masas no imprimían a valores de temperatura ambiente pero que estas sí que lo hacían al aumentar su temperatura.

Para que la temperatura fuera constante durante la impresión, se utilizó una bobina conectada a un baño de recirculación de agua (Heildolph rotacool chiller, Illinois, EE.UU)(Figura 10).



*Figura 10. Baño de recirculación de agua Heildolph rotacool chiller a 50°C.*



*Figuras 11, 12 y 13. Masas impresas durante el prediseño.*

### 4.3. Diseño experimental

Tras haber realizado pruebas previas que reflejaban la imprimibilidad de la composición, se diseñaron las mezclas con los vértices extremos y se analizaron los datos de manera experimental con el programa Minitab 18 Statistical Software (Minitab Inc., EE.UU.).

Se introdujeron los 3 componentes de las impresiones: "A" (% de almendras) con valor mínimo 55% y valor máximo 59,8%; "B" (% de harina de almendras) con valor mínimo 40% y valor máximo 44,8%; "C"(%glucosa) valor mínimo 0,2% y valor máximo 0,4%. Así mismo, se añadió la variable de proceso, temperatura (40,50 °C) para la impresión de una pirámide con una altura de capa de 0,15 cm y una base de 3,5cm de ancho y 3,5 cm de largo. El Software de Minitab generó un diseño experimental de 18 impresiones para la crema de almendras que encontramos en la *Tabla 1*.

*Tabla 1. Formulaciones para la preparación de las masas de almendras variando el porcentaje de materias primas.*

Nº Formulación	Almendra (%)	Harina (%)	Glucosa (%)	Temperatura (°C)
1	55,000	44,800	0,20	40
2	55,000	44,600	0,40	40
3	59,800	40,000	0,20	40
4	59,600	40,000	0,40	40
5	57,350	42,350	0,30	40
6	56,175	43,575	0,25	40
7	56,175	43,475	0,35	40
8	58,575	41,175	0,25	40
9	58,475	41,175	0,35	40
10	55,000	44,800	0,20	50
11	55,000	44,600	0,40	50
12	59,800	40,000	0,20	50
13	59,600	40,000	0,40	50
14	57,350	42,350	0,30	50
15	56,175	43,575	0,25	50
16	56,175	43,475	0,35	50
17	58,575	41,175	0,25	50
18	58,475	41,175	0,35	50

La impresión de las masas se llevará a cabo de manera triplicada, obteniendo tres muestras por cada configuración descrita en la *Tabla 1*.

#### 4.4. Caracterización de la textura

La capacidad de extrusión de las masas realizadas se evaluó a través del texturómetro (modelo TA-XT plus, Texture Analyser, Leicestershire, Reino Unido), ver *Figura 14*. Se utilizó una jeringuilla de 100mL de volumen y un pistón de 31 mm de diámetro. La jeringuilla se llenó con las distintas masas preparadas. La muestra fue extruida por un orificio de 1,00mm de diámetro. Alrededor de la jeringuilla se utilizó un baño de recirculación de agua a 40°C o 50°C en función de la muestra (Heildolph rotacool chiller, Illinois, EE.UU).

Los parámetros fijados para el ensayo fueron los siguientes: velocidad previa a la prueba 0,04 mm/s, velocidad posprueba 0,04 mm/s y distancia de 10mm. En función de estos parámetros, se determinó la fuerza máxima (N) necesaria para mover 10 mm de masa en la cámara, la fuerza media aplicada en el proceso (N) y el área bajo la curva (Ns).

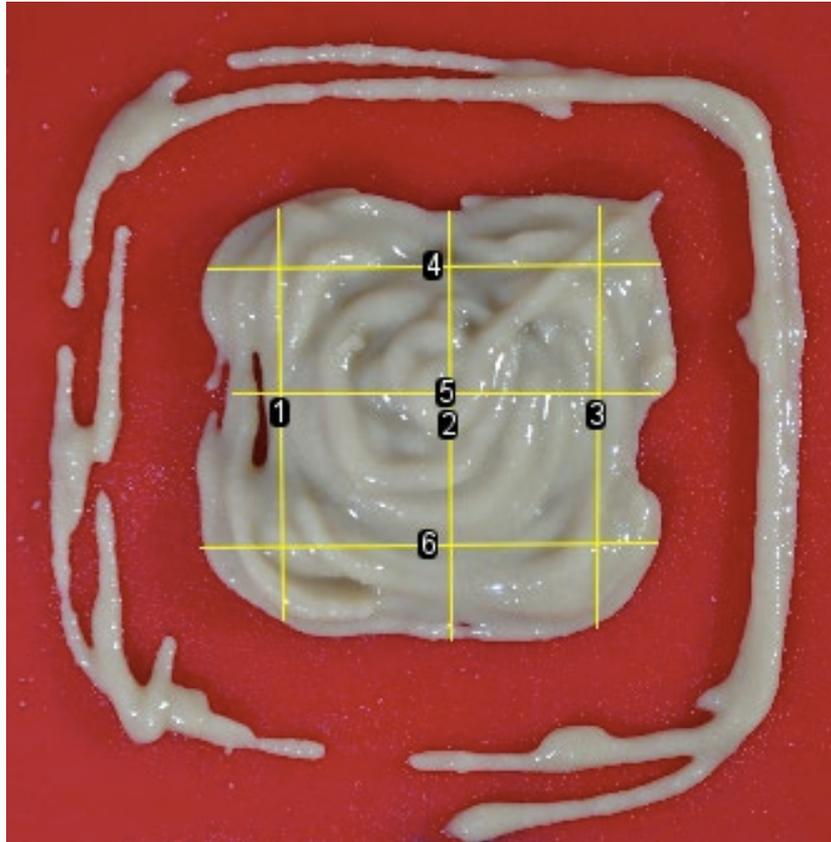


*Figura 14. Texturómetro TA-XT Plus durante los análisis con la muestra.*

#### 4.5. Análisis de imagen

Según (Kim H. W., et al 2018), los alimentos se pueden clasificar en 4 grupos distintos en función de su dificultad de impresión. Los alimentos más sencillos de imprimir son los denominados “A”, con ellos se puede realizar objetos 3D sofisticados, como por ejemplo con el queso crema o la mermelada de chocolate. En el caso del grupo “B”, son alimentos que se extruden con dificultad media, se pueden imprimir con un sistema de impresión general, encontramos aquí el queso o la pasta de judías. En el grupo “C” se requiere una extrusora de alto rendimiento, siendo estos alimentos difíciles de extrudir, un ejemplo es la masa de galletas. Por último, los alimentos de grado “D”, son muy difíciles de extrudir, se han de derretir para que tengan fluidez, la pasta de azúcar o mazapán se hallan en este grupo. La crema de almendras se sitúa en este último grupo.

Las imágenes fueron realizadas inmediatamente después de la impresión y se realizaron desde un plano superior. En ellas se hicieron por triplicado mediciones del ancho y largo, y se obtuvo la media de estos valores. Para este análisis, se ha utilizado el software Image J (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>; Abramoff et al., 2004; Braadbaart y Van Bergen, 2005). A parte de llevar a cabo un estudio de efectos y significancia de estos (como se explica más adelante), se lleva a cabo una optimización de la respuesta, ajustando los factores para obtener las dimensiones teóricamente correctas de la figura impresa. Estas dimensiones son 3.5 cm x 3.5 cm, sumando un total de 12.5 cmxcm. A continuación, se muestra un ejemplo de las mediciones en la *Figura 15*.



**Figura 15** . Vista superior de la impresión de la configuración n°14, y las mediciones de ancho y largo de la figura.

## 4.6. Análisis estadístico

Se lleva un diseño experimental y análisis de este mediante diferentes herramientas estadísticas, con el objetivo de encontrar la configuración de factores (% almendra, % harina, % glucosa y  $T^a$  del proceso) y temperatura idóneos acorde a las diferentes variables respuesta (fuerza máxima, fuerza media y dimensiones de la masa impresa) para el proceso de impresión. Las herramientas estadísticas utilizadas son las siguientes:

- Gráfica de efectos simples e interacciones. Utilizada para encontrar posibles comportamientos de la variable respuesta medida en función de los factores.
- Regresión factorial. Modelo con el que se analiza la evidencia estadística del diseño de la fase experimental para aceptar o rechazar los efectos e interacciones.
- Prueba de igualdad de varianza (Levene) y análisis de medias. Conjunto de pruebas realizadas para analizar si la varianza del error es igual para todas las configuraciones medidas, y poder encontrar configuraciones con medias significativamente diferentes. Son pruebas llevadas a cabo en serie, para poder analizar las medias de las configuraciones entre sí, primero se ha de asegurar igualdad de varianzas.
- Optimizador de respuesta para la figura impresa. Mediante el diseño de mezclas y los valores del área de la base de la figura impresa, se encontrará la configuración de factores que producen las dimensiones teóricamente correctas de la figura.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según (Yang F., et al. 2018), dos de las principales características responsables de la impresión 3D son: la capacidad de extrudir la masa y la habilidad de soportar la estructura y forma de los productos de impresión 3D. Si estas dos condiciones se cumplen, la masa será extruida con éxito y las figuras 3D mantendrán las formas y estructuras durante el tiempo. Sin embargo, esto puede resultar contradictorio, ya que se puede dar el caso que una masa se pueda extrudir bien pero no tener la capacidad de soportar las estructuras y al contrario. Por lo tanto, las propiedades físicas adecuadas son una condición necesaria una impresión 3D del producto satisfactoria.

### 5.1. Cálculo de la humedad de la harina

*Tabla 2 . Valores de masa expresada en gramos de la placa de Petri con las muestras de harina*

Muestra	1	2	3
Placa de Petri sin tapa	18,2	18,7	18,6
Placa de Petri sin tapa + muestra inicial	23,2	23,7	23,6
Placa de Petri sin tapa + muestra (24h)	22,8	23,3	23,3
Placa de Petri sin tapa + muestra (48h)	22,8	23,3	23,3
Humedad	0,08	0,08	0,06
Valor medio	0,07 ± 0,012		

El valor medio de la humedad de la harina es de 7%.

### 5.2. Caracterización textural de las masas

Para la caracterización textural de las masas se utiliza el programa “Exponent”, el cual permite analizar las muestras, representando en una gráfica la fuerza (N) frente al tiempo (s).

Se trató de obtener 3 curvas de cada muestra con una meseta estable, en alguno de los casos, esto no fue posible, ya que la masa no fluía de manera continuada.

La curva se divide en 3 etapas: la primera etapa (1-2) forma la pendiente de la curva, en la segunda (2-3) se encuentra el tiempo que tarda la fuerza en llegar a su punto máximo y en la última (3-4) se halla la estabilización de la fuerza.

Para caracterizar las muestras se utiliza la pendiente de la curva (N/s) durante primeros 25 segundos, la fuerza máxima (N) para desplazar 10mm la jeringuilla, la fuerza media (N) que se aplica en la meseta durante la fase de estabilización a partir de los 90 segundos, hasta que finaliza en los 250 segundos, y el área (N·s) del tramo (3-4). En la mayoría de los casos se observan alteraciones de la meseta, estas pueden deberse a pequeñas burbujas de aire en la masa. Esto se puede observar en la *Figura 16*.

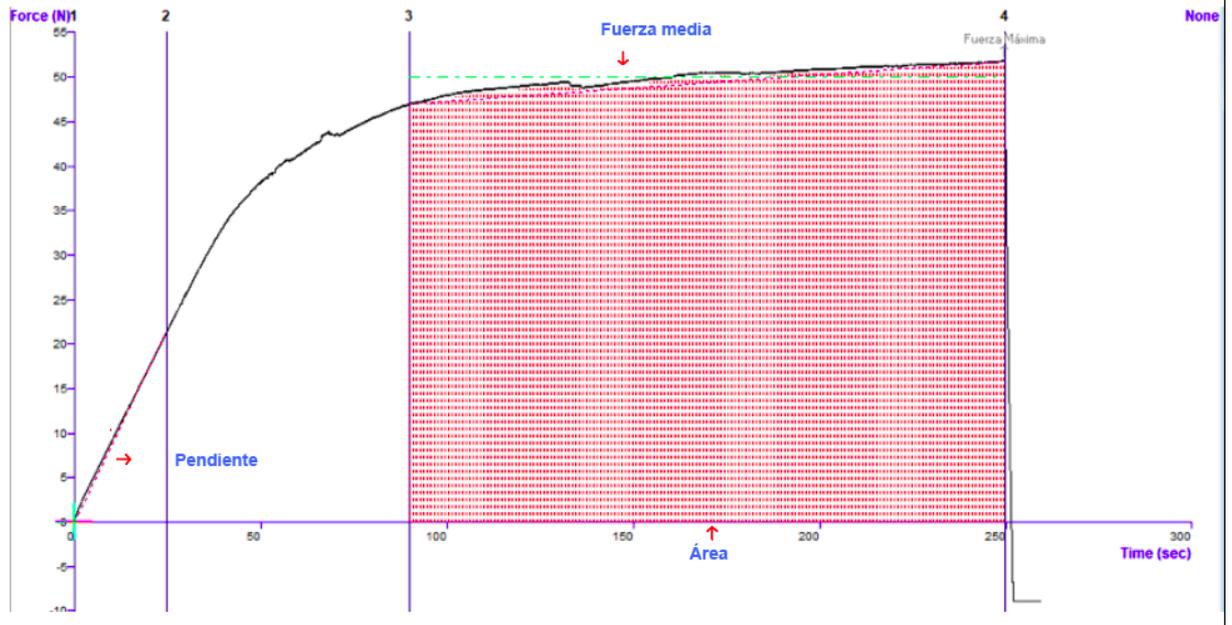


Figura 16. Curva característica de la extrusión de la masa con una concentración de 55% almendras, 44,8% harina y 0,2% glucosa, a 40°C.

En las Tablas 3 y 4 se muestran los valores resultantes a las distintas temperaturas de impresión:

Tabla 3. Valores medios de gradiente, área de compresión, fuerza máxima y fuerza media de las formulaciones a 40°C.

Muestra	Gradiente (N/s)	Área (N·s)	Fuerza máxima (N)	Fuerza media (N)
1	-0,00 ± 0,02	7907 ± 169	51 ± 1	49 ± 1
2	0,72 ± 0,62	14853 ± 8292	183 ± 74	93 ± 52
3	0,79 ± 0,91	16020 ± 8815	210 ± 101	100 ± 55
4	0,42 ± 0,11	68,91 ± 1843	98 ± 20	43 ± 12
5	0,99 ± 0,36	14275 ± 4666	194 ± 59	89 ± 29
6	0,19 ± 0,32	9414 ± 6925	121 ± 88	59 ± 43
7	2,28 ± 14	52276 ± 4378	514 ± 36	327 ± 27
8	0,07±0,04	13829 ± 2311	90 ± 16	86 ± 14

**Tabla 4.** Valores medios de gradiente, área de compresión, fuerza máxima y fuerza media de las formulaciones a 50°C.

Muestra	Gradiente (N/s)	Área (N·s)	Fuerza máxima (N)	Fuerza media (N)
10	0 ± 0,1	4191 ± 956	28 ± 7	26 ± 6
12	0,51 ± 0,25	9468 ± 1505	113 ± 30	59 ± 9
14	1,26 ± 0,48	16508 ± 7520	228 ± 92	103 ± 47
15	1,32 ± 0,12	22584 ± 4329	260 ± 37	141 ± 27
17	0,02 ± 0,04	12091 ± 1203	80 ± 7	76 ± 8

En el caso de las muestras 7,9,11,13,16 y 18, no se pudieron obtener valores, ya que no fluía la muestra a través de la jeringuilla. Esto puede ser debido a que se necesita realizar una fuerza mayor de la que es capaz de realizar la impresora para extrudir la masa, con una boquilla de mayor diámetro, se podría conseguir que ésta fluyera a través de la jeringuilla. No se muestran las gráficas de interacciones de factores por la imposibilidad del programa para el cálculo de estas.

### 5.2.1 Análisis estadístico de la fuerza máxima

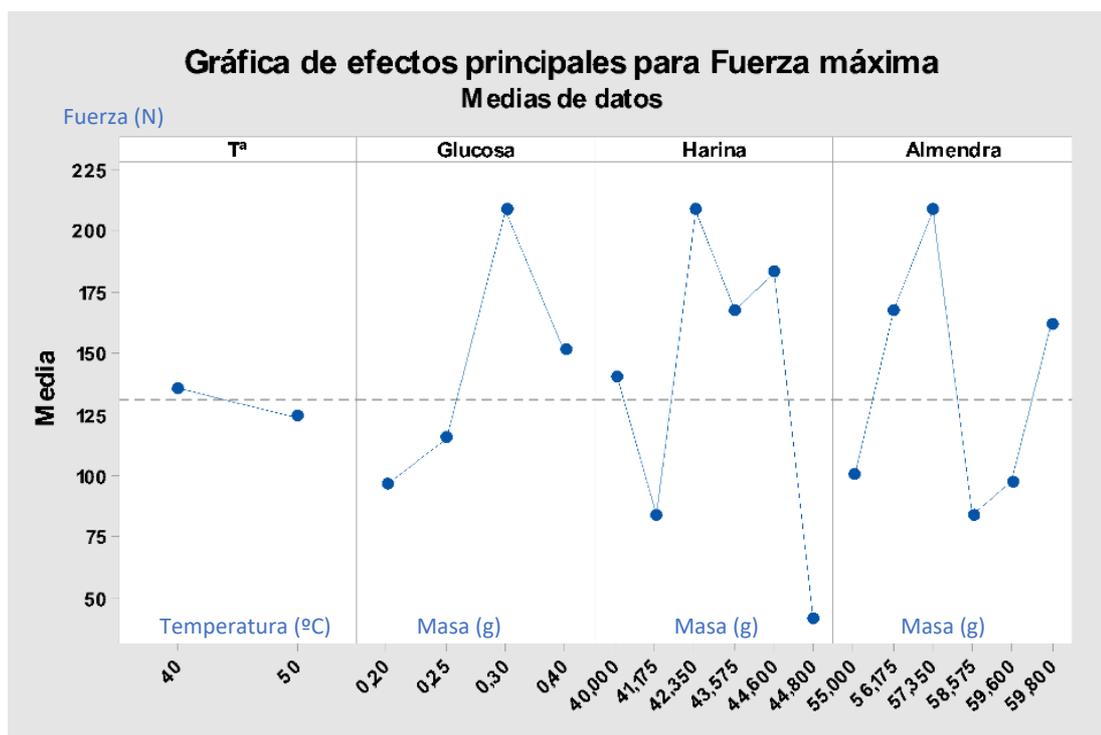


Figura 17. Gráfica de efectos principales para la fuerza máxima.

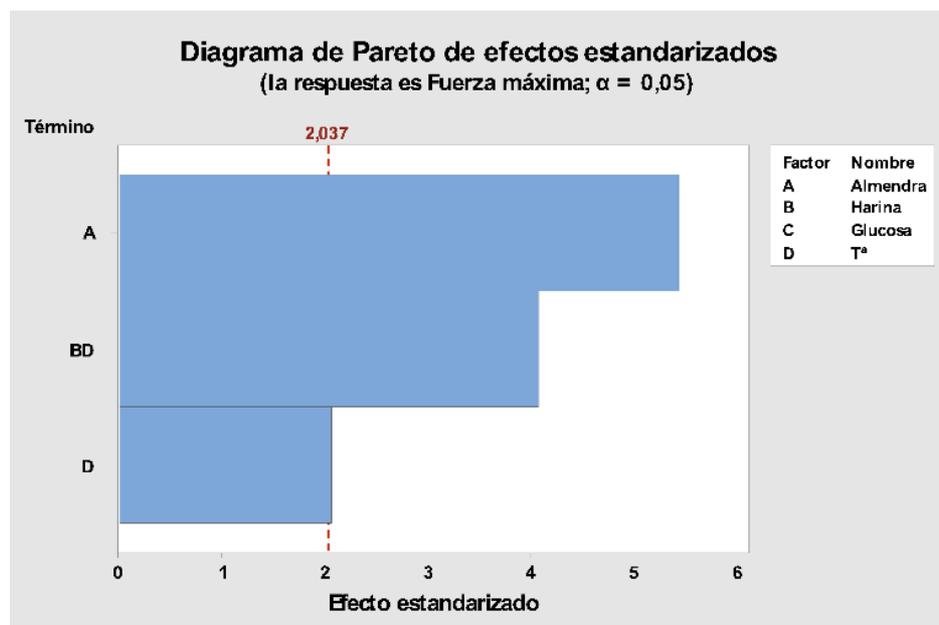
En la *Figura 17* el caso de los componentes harina y almendra, no existe un comportamiento predecible. En la glucosa, se pueden ver indicios de un comportamiento que refleja que a mayor glucosa, mayor fuerza máxima, sin embargo, el final de la gráfica presenta una propia incongruencia respecto al comportamiento comentado. En el caso de la temperatura, que se tiene un número mayor de muestras y por lo tanto más “veracidad” en el comportamiento, se puede predecir que: a mayor temperatura (50°C), menor fuerza se ha de realizar. Para comprobar la veracidad de los efectos y poder encontrar diferencias significativas respecto al comportamiento de los efectos, se realiza una regresión factorial.

En esta prueba se obtiene que no se puede hacer una estimación, y por lo tanto se eliminan de la misma, los componentes (harina y glucosa) y las interacciones (Almendra· Harina; Almendra· Glucosa; Almendra· T<sup>a</sup>; Harina· Glucosa; Glucosa· T<sup>a</sup>; Almendra· Harina· Glucosa; Almendra· Harina· T<sup>a</sup>; Almendra· Glucosa· T<sup>a</sup>; Harina· Glucosa· T<sup>a</sup> y Almendra· Harina· Glucosa· T<sup>a</sup>). Aunque en el caso de la almendra, la T<sup>a</sup> y la interacción de la harina · T<sup>a</sup> aparezcan valores significativos, (valor p<0,05) y un R<sup>2</sup> de 66%, el modelo no puede estimar el resto de valores, por lo no se puede afirmar que estos sean los verdaderos resultados del modelo.

*Tabla 5. Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para la fuerza máxima.*

Fuente	F fisher	P-value	Significancia
Almendra	10,35	0,000	Significativo
Temperatura	4,28	0,047	Significativo
Harina· T <sup>a</sup>	6,49	0,000	Significativo

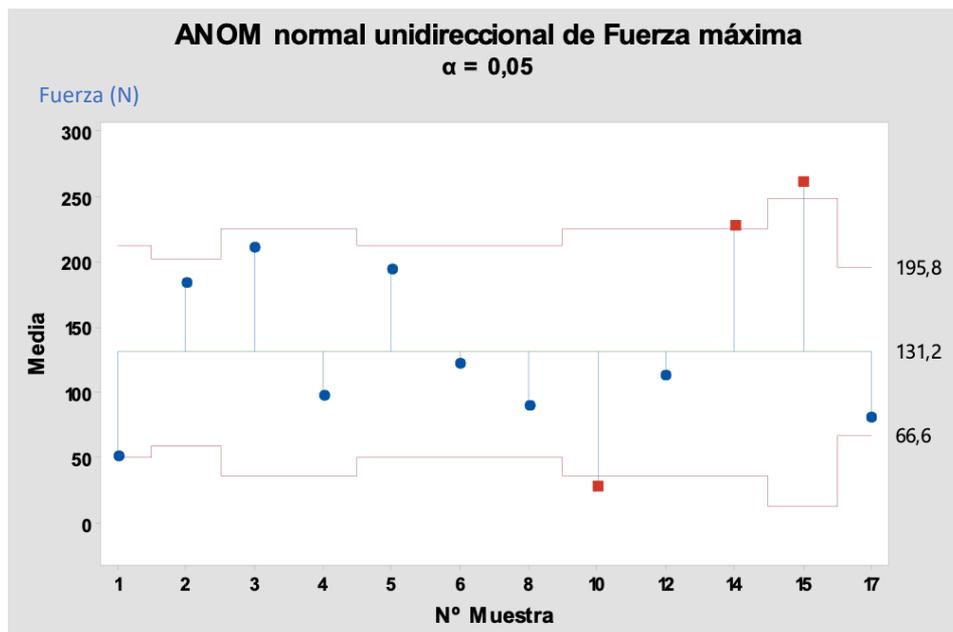
El diseño de la regresión factorial, queda reflejado en el Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (*Figura 18*):



*Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la fuerza máxima.*

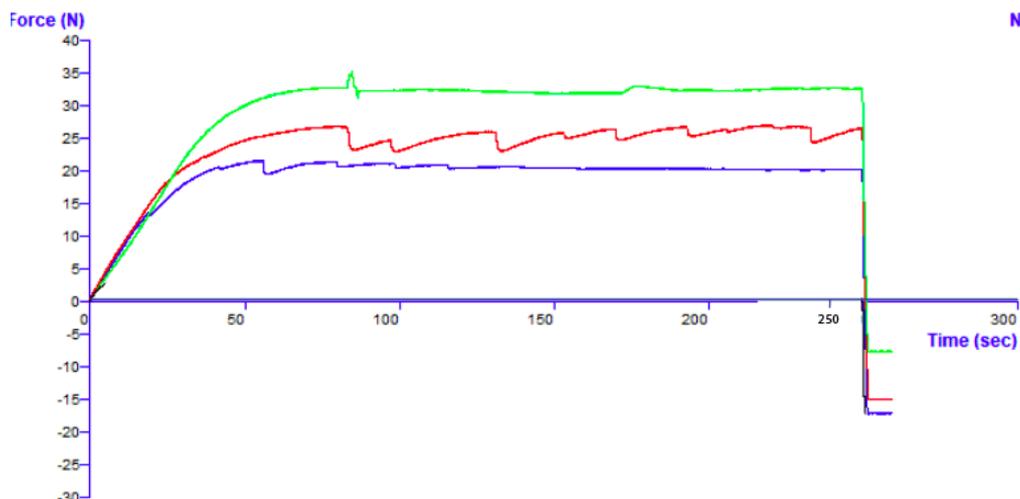
En la *Figura 18*, se puede observar que los factores y la interacción estimada son significativos, ya que son superiores al valor mínimo de significancia (2,037), nuevamente, esto carece de sentido porque se eliminan muchos factores e interacciones.

A continuación, se realiza una prueba de igualdad de varianza, para ver si se cumple la hipótesis de que todas las varianzas de nuestras configuraciones son iguales o no. En este caso, la prueba de Levene ha arrojado un resultado de 0.168 para el p-value del modelo, por lo que se asume igualdad de varianzas. Esto dará pie a poder llevar a cabo el test de análisis de medias, por el cual quedan reflejadas las medias de las muestras significativamente diferentes (*Figura 19*).



*Figura 19. Análisis de medias de la fuerza máxima.*

Este análisis muestra que las medias de las muestras 10 y la 15 tienen valores significativamente diferentes al resto. En el caso de la muestra 10, requiere un valor de fuerza bajo para ser extruida (lo hace de manera autónoma, porque la masa es demasiado líquida), en el caso de la muestra 15 es todo lo contrario, esta no es extruida de manera correcta y se necesita una fuerza mayor para ser extruida. A continuación, se adjuntan las curvas características para la muestra 10 y para la muestra 15.



*Figura 20. Curvas características de la Muestra 10.*

En la *Figura 20* se observan las curvas características empleadas para el cálculo de la fuerza máxima de la Muestra 10, se puede observar como las curvas no llegan a alcanzar los 40N. Las ondulaciones pueden deberse a burbujas de aire en el interior de la jeringuilla.

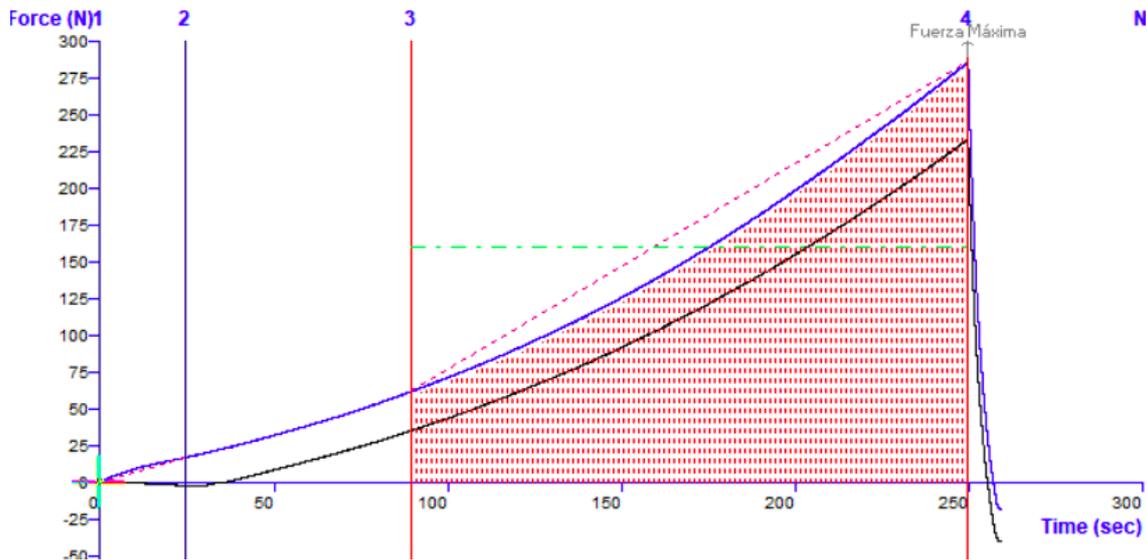


Figura 21. Curvas características de la Muestra 15.

En la *Figura 21* sin embargo podemos observar como la gráfica de las curvas de la muestra 15 alcanza los 250N, mientras que el resto de configuraciones rondan los 100N de fuerza máxima.

### 5.2.2 Análisis estadístico de la fuerza media

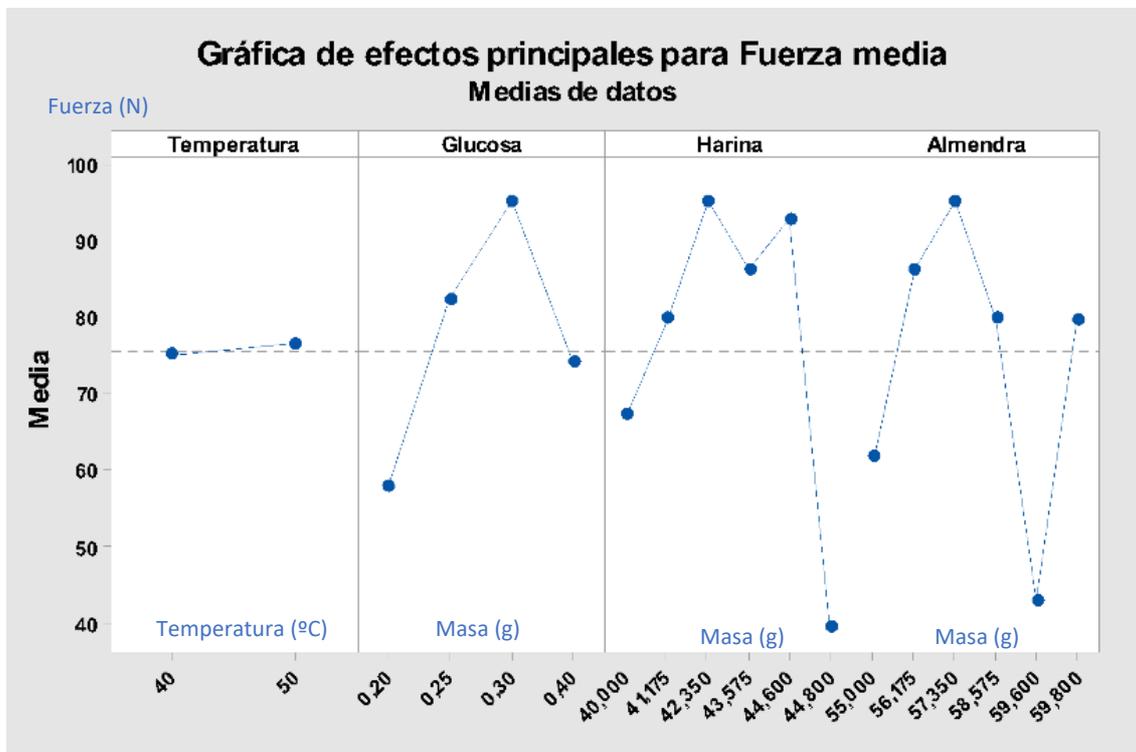


Figura 22. Gráfica de efectos principales para la fuerza media.

En cuanto a la harina, almendra y glucosa, no existen diferencias con respecto a la fuerza máxima. En el caso de la temperatura hallaríamos un comportamiento ligeramente contrario al de la fuerza máxima. Esto no tiene mucha lógica, ya que la fuerza media y máxima son directamente proporcionales. Aunque puede ser que la falta de experimentos esté enmascarando el verdadero comportamiento y la gráfica esté mostrando un comportamiento anómalo. Para comprobar la veracidad de los efectos y poder encontrar diferencias significativas en cuanto al comportamiento de los mismos, se realiza una regresión factorial.

Como en el apartado anterior y como era de esperar visto lo ocurrido, no se pueden estimar algunos factores y casi ninguna de las interacciones del modelo. Este problema observado para las dos variables respuesta puede deberse a la falta de información al no poderse realizar 6 de las 18 corridas de configuraciones.

Aunque en el factor de la almendra y la interacción de la harina· temperatura aparezcan valores significativos (valor  $p < 0,05$ ), el la temperatura no significativo (valor  $p > 0,05$ ) y un  $R^2$  del 49,19 %, el modelo no puede estimar el resto de factores, por lo no se puede afirmar que estos sean los verdaderos resultados del modelo.

Tabla 6. Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para la fuerza media

Fuente	F fisher	P-value	Significancia
Almendra	4,43	0,004	Significativo
Temperatura	1,76	0,194	No Significativo
Harina· T <sup>a</sup>	4,26	0,004	Significativo

El diseño de la regresión factorial, queda reflejado gráficamente en el diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Figura 23):

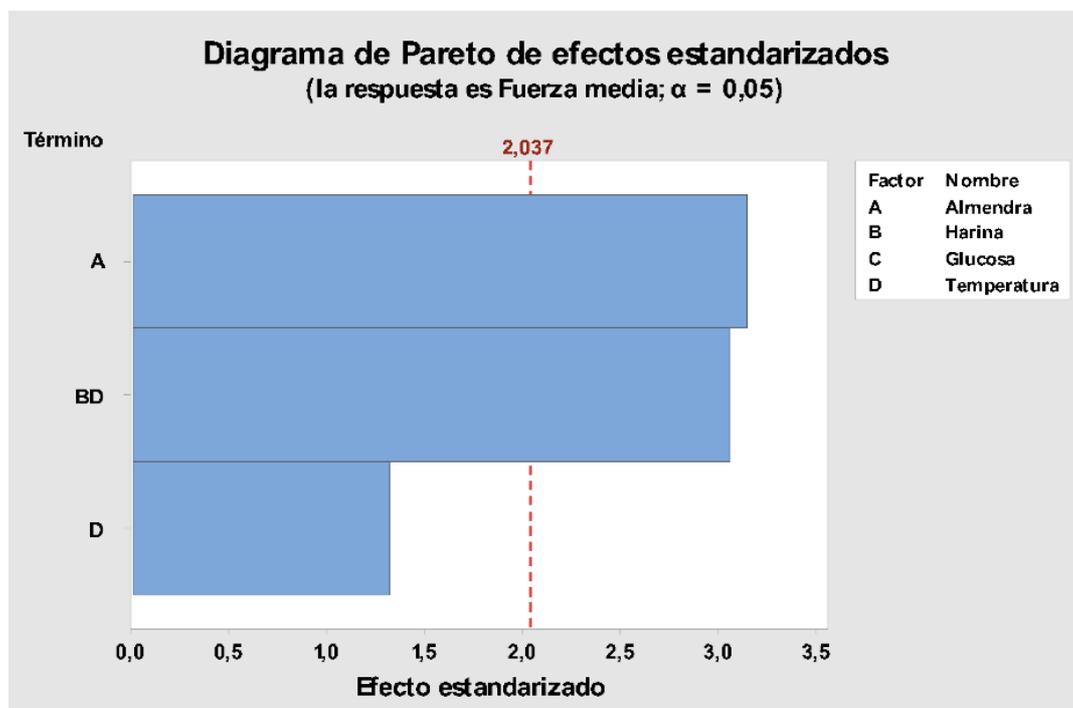


Figura 23. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la fuerza media

A continuación, se realiza una prueba de igualdad de varianzas, para ver si se cumple la hipótesis de que todas las varianzas de nuestras configuraciones son iguales o no. En nuestro caso la prueba de Levene ha arrojado un resultado de 0.188 para el p-value del modelo, por lo que se asume igualdad de varianzas. Esto dará pie a poder llevar a cabo el test de análisis de medias, por el cual quedan reflejadas las medias de las muestras que sean significativamente diferentes.

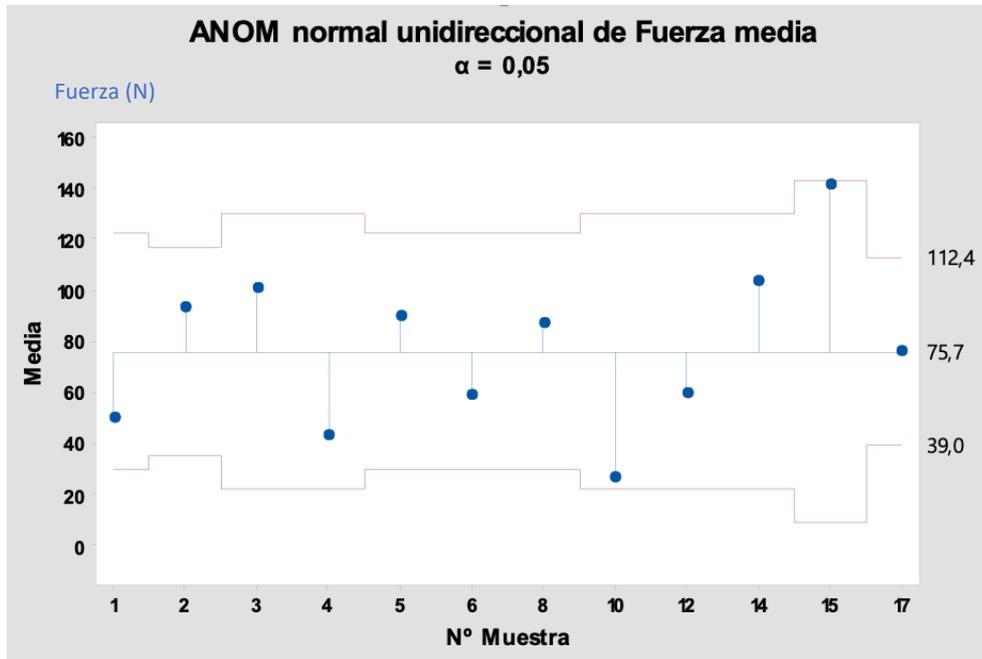


Figura 24. Análisis de medias de la fuerza media

En este caso, ninguna media es significativamente diferente del resto de medias generales.

### 5.3. Análisis de imagen

En la *Tabla 7* se muestran los valores medios de ancho y largo, así como el área de la base de la figura, las configuraciones a 40°C fueron impresas de manera triplicada:

Tabla 7. Valores medios de ancho, largo y área de la base de la figura para las configuraciones de 40°C.

Configuraciones	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cmx cm)
1	3,8 ± 0,4	3,7 ± 0,5	14,1 ± 3,9
2	3,5 ± 0,5	3,6 ± 0,5	12,8 ± 4,0
3	3,4 ± 0,4	3,3 ± 0,4	11,3 ± 2,6
4	4,4 ± 0,5	4,4 ± 0,5	19,2 ± 4,8
5	3,5 ± 0,1	3,5 ± 0,1	12,3 ± 0,7
6	3,7 ± 0,3	3,7 ± 0,3	13,9 ± 2,6
9	3,9 ± 0,5	4,0 ± 0,5	16,0 ± 4,1

No se han podido obtener los valores 7 y 8 de impresión, ya que no fue posible extrudir la masa a través de la boquilla de la jeringuilla.

En la *Tabla 8* se muestran imágenes de las figuras impresas a 40°C.

*Tabla 8. Imágenes de las figuras impresas a 40°C*

Configuración	Imágenes		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
9			

En la *Tabla 9* se muestran los valores medios de ancho y largo, así como el área de la base de la figura, las configuraciones a 50°C fueron impresas de manera triplicada:

*Tabla 9. Valores medios de ancho, largo y área de la base de la figura para las configuraciones de 50°C.*

Configuraciones	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )
<b>10</b>	4,0 ± 0,6	4,0 ± 0,5	16,2 ± 4,7
<b>11</b>	3,1 ± 0,4	3,3 ± 0,3	10,3 ± 2,0
<b>12</b>	3,3 ± 0,5	3,4 ± 0,5	11,2 ± 3,3
<b>13</b>	3,9 ± 0,2	3,9 ± 0,2	15,1 ± 1,2
<b>14</b>	3,6 ± 0,1	3,6 ± 0,1	12,7 ± 0,5
<b>15</b>	3,1 ± 0,4	3,0 ± 0,4	9,3 ± 2,4
<b>16</b>	3,1 ± 0,5	3,2 ± 0,6	10,2 ± 4,1
<b>17</b>	2,6 ± 0,6	3,3 ± 0,3	8,6 ± 1,3
<b>18</b>	3,4 ± 1,0	3,3 ± 0,9	12,2 ± 7,0

En la *Tabla 10* se muestran imágenes de las figuras impresas a 50°C.

Tabla 10. Imágenes de las figuras impresas a 50°C.

Configuración	Imágenes		
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

En el caso de la configuración 17, la única muestra que se obtuvo fue la mostrada en la imagen de la *Tabla 10*, para el análisis de estas se utilizó la misma.

### 5.3.1 Análisis estadístico de las áreas de las figuras

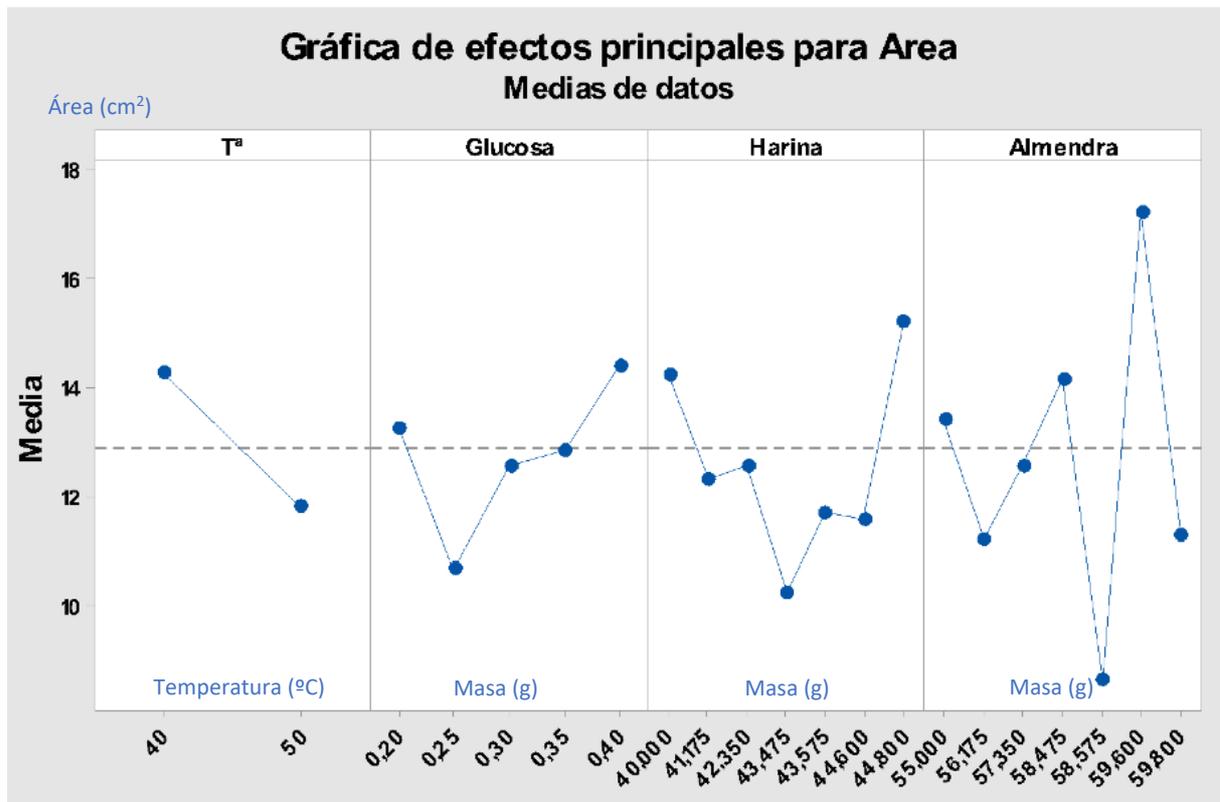


Figura 25. Gráfica de efectos principales para el área de la base.

Como en el resto de casos, en la Figura 25 no se puede predecir ningún comportamiento en los factores glucosa, harina y almendra. En la temperatura se observa una mayor área en las muestras de 40°C que las de 50°C, esto puede ser debido a que existe mucha variabilidad en la impresión de las muestras a 50°C (Figuras 26, 27 y 28), y posiblemente la falta de las configuraciones 7 y 8. Para comprobar la veracidad de los efectos, se realiza una regresión factorial y poder encontrar diferencias significativas en cuanto al comportamiento de los efectos.



Figuras 26, 27 y 28. Configuraciones 12, 17 y 18 respectivamente.

Se comprueba la veracidad de los efectos principales mediante regresión factorial, como en apartados anteriores y como ya se ha visto, no se puede estimar algunos factores y casi ninguna interacción del modelo. Este problema puede ser debido a que hay masas que aunque tienen "dimensiones" no tienen una forma definida y por lo tanto dimensiones que reflejen el verdadero efecto de la configuración de factores.

Tabla 11. Regresión factorial (F Fisher, p-value y significancia de los factores y sus interacciones) para el área de la base.

Fuente	F fisher	P-value	Significancia
Almendra	1,91	0,107	No significativo
Temperatura	2,34	0,135	No significativo
Harina· T <sup>a</sup>	0,64	0,719	No significativo

Aunque en el caso de la almendra, la temperatura y la interacción de la harina y la temperatura aparezcan valores significativos, ( valor  $p > 0,05$ ) y un  $R^2$  de 40,18%, el modelo no puede estimar el resto de factores, por lo no se puede afirmar que estos sean los verdaderos resultados del modelo. El diseño de la regresión factorial, queda reflejada en el diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Figura 29):

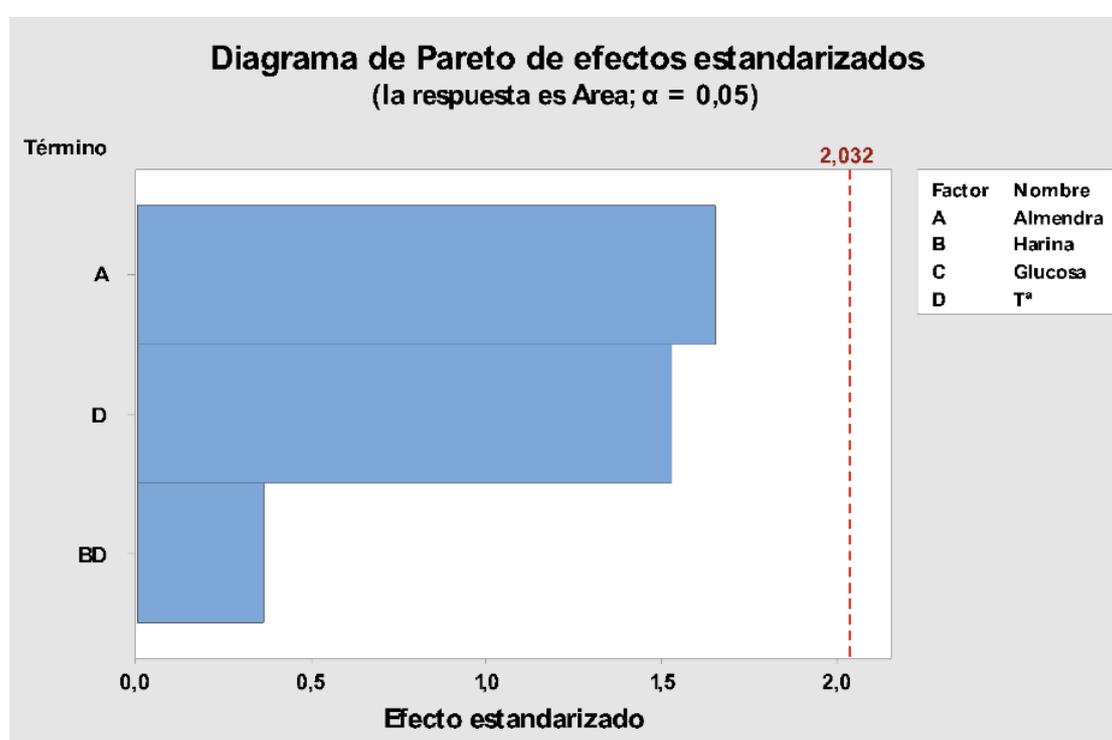


Figura 29. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del área de la base de la figura.

A continuación, se realiza una prueba de igualdad de varianzas, para ver si se cumple la hipótesis de que todas las varianzas de nuestras configuraciones son iguales o no. En nuestro caso la prueba de Levene ha arrojado un resultado de 0.836 para el p-value del modelo, por lo que se asume igualdad de varianzas. Esto dará pie a poder llevar a cabo el test de análisis de medias, por el cual quedan reflejadas las medias de las muestras que son significativamente diferentes.

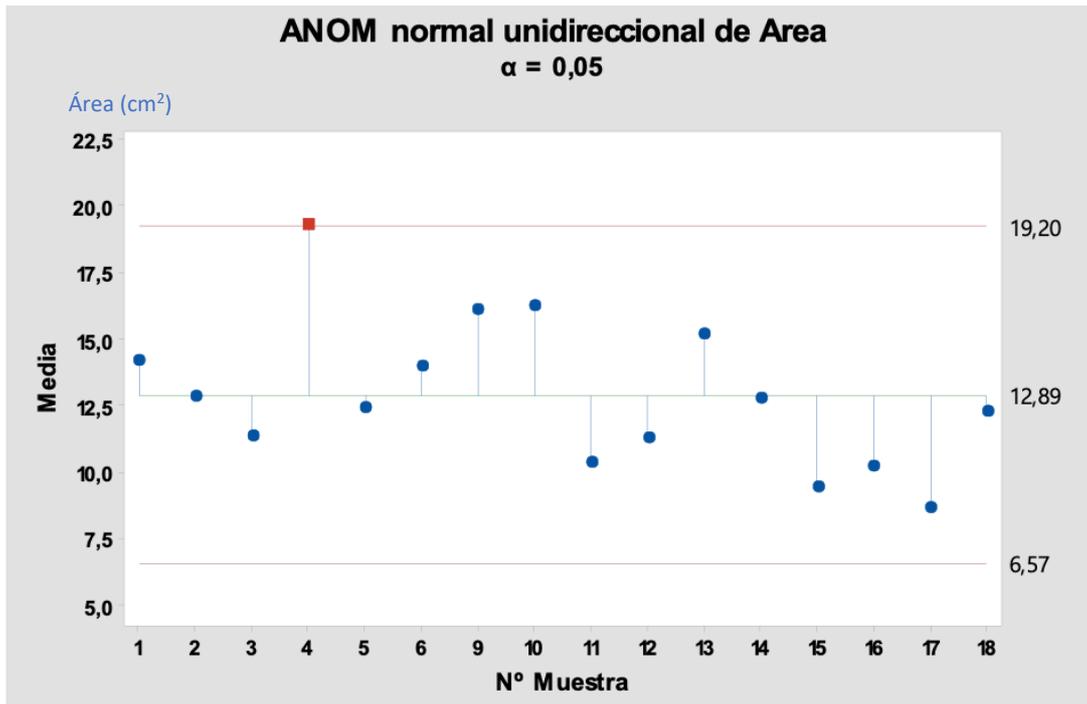


Figura 30. Análisis de medias del área de la base.

En este caso las medias no difieren de la media general como se puede observar en la *Figura 30*.

En cuanto a la optimización de la respuesta (*Figura 31*), el programa indica que para un área que coincidiera con el área teórica (12,25 cmxcm), se debería realizar una configuración de 55,4% de almendra, 44,4% de harina y 0,2% de glucosa a una temperatura de 42°C.

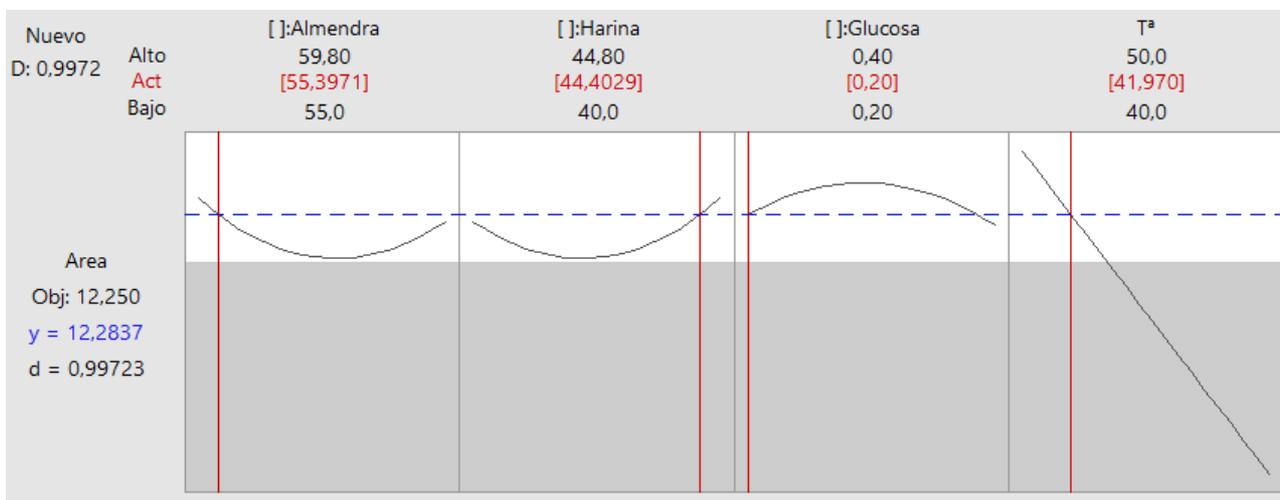


Figura 31. Optimización de respuesta del área.

## 6. CONCLUSIONES

- No se puede obtener información veraz, estadísticamente hablando, del diseño experimental llevado a cabo para la fuerza máxima y media, ya que el modelo de regresión factorial no consigue estimar muchos factores ni las interacciones debido a la falta de  $\frac{1}{3}$  de las configuraciones totales y por lo tanto, de la información total del diseño. Existe la posibilidad que la falta de experiencias, información, esté enmascarando el verdadero comportamiento de los factores sobre las variables respuesta.
- El análisis de imagen muestra que no existe evidencia estadística para afirmar que los factores generan efectos en las figuras impresas. Se observa que puede estar muy relacionado con la mala calidad de las muestras impresas, ya que algunas no tienen una forma definida, y por lo tanto, la variabilidad de dimensiones en una misma figura puede llegar a ser muy alta.
- La optimización de la variable respuesta “área”, sugiere que los factores almendra, harina, glucosa y  $T^a$  con 55,4%, 44,4%, 0,2 y 42°C respectivamente son los que generarían unas dimensiones de 12,25 cmxcm. Faltaría llevar a cabo esta experiencia, ya que esta configuración no existe en las llevadas a cabo durante el trabajo.
- El problema de las figuras multidimensionales puede estar generado por el bajo rendimiento del proceso de fabricación de la masa, ya que durante la impresión se observan grumos que atascaban la boquilla de la jeringuilla. También cabe mejorar el proceso de fabricación de la masa para la impresión, mediante una mejora de la molienda de las harinas, probando una menor cantidad de harina para el diseño experimental e incluso aumentando el diámetro del cabezal de impulsión de la impresora.
- Como posibles mejoras del trabajo, cabría tener en cuenta la mejora de la fase de prediseño, para conocer mejor el proceso de impresión ante la variación de factores, y así evitar, que los problemas de experimentos fallidos o no producidos, se vean reflejados en el diseño experimental, ya que estos entorpecen severamente la veracidad de los datos (por falta de información) y la regresión del modelo. De esta manera, se podría ajustar al modelo y estimar todos los factores e interacciones, su significancia y su efecto sobre las medias de las configuraciones. Ante el problema de tiempo de fase experimental presentado por el COVID-19, no se ha podido llevar a cabo una medida correctiva sobre el diseño experimental del presente trabajo.
- Como posibles futuros trabajos adicionales se podría destacar estudiar la variabilidad de las masas, ya que ante el problema de falta de configuraciones producidas, la variabilidad observada no se sabe si es por falta de datos o por la propia variabilidad del proceso, y la reproducibilidad del diseño. Ante la falta de tiempo por el COVID-19 no se ha podido llevar a cabo, estos futuros trabajos que se tenían en mente.
- El TFG ha resultado ser no concluyente, sin embargo, se puede emplear como base para futuros trabajos sobre impresión 3D de frutos secos o en concreto de almendras.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aznar-Sánchez, J.A. , Velasco, J.(2016) El mercado mundial de la almendra 10.32796/bice.2016.3079.5590
2. Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G. C., Süntar, İ., & Mandalari, G. (2020). Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): A Source of Nutrients and Health-Promoting Compounds. *Nutrients*, 12(3), 672. <https://doi.org/10.3390/nu12030672>
3. Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., & Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
4. Garrido, I., Monagas Juan, M. J., Gómez-Cordovés, C., & Bartolomé, B. (2007). Extracción de antioxidantes a partir de subproductos del procesado de la almendra.
5. Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
6. Hamilton, C. A., Alici, G., & in het Panhuis, M. (2018). 3D printing Vegemite and Marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*, 220, 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
7. Hernández, S., & Zacconi, F. (2009). Aceite de almendras dulces: Extracción, caracterización y aplicación. *Quimica Nova*, 32(5), 1342-1345.
8. Holland, S., Foster, T., MacNaughtan, W., Tuck, C.(2017) Design and characterization of food grade powders and inks for microstructure control using 3D printing. *Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.06.008>
9. International Nut and Dried Fruit Council. (2016). *World Tree Nut Production*; International Nut and Dried Fruit Council: Reus, Spain, 2016.
10. Jorquera, A. (2016) .Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D
11. Kim, H. W., Bae, H., & Park, H. J. (2018). Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydrocolloids as reference material. *Journal of Food Engineering*, 220, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.023>
12. Le Tohic, C., O’Sullivan, J. J., Drapala, K. P., Chartrin, V., Chan, T., Morrison, A. P., ... Kelly, A. L. (2018). Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 220, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003>
13. Liu, Z., Zhang, M., & hui Yang, C. (2018). Dual extrusion 3D printing of mashed potatoes/strawberry juice gel. *Lwt*, 96(February), 589-596. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.014>
14. Liu, C., Ho, C., & Wang, J., (2018) The development of 3D food printer for printing fibrous meat materials IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 284 012019

15. Morales Padilla, MM. (2017). Almendras dulces y amargas: determinación del contenido de amigdalina mediante cromatografía líquida de alta resolución y clasificación mediante espectroscopia visible y de infrarrojo cercano. <http://hdl.handle.net/10251/87487>
16. Murphy, S., Atala, A. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nat Biotechnol* 32, 773–785 (2014). <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>
17. Özcan, M.M.; Ünver, A.; Erkan, E.; Arslan, D. (2011) Characteristics of some almond kernel and oils. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* 2011, 127, 330–333.
18. Prgomet, I., Golçalves, B., Domínguez-Perles, R., Pascual-Seva, N., Barros, A., (2017). Valorization Challenges to Almond Residues: Phytochemical Composition and Functional Application: <https://doi.org/10.3390/molecules22101774>
19. Reino Moyón, SJ. (2018). Efecto de la tecnología de impresión 3d sobre las propiedades estructurales y reológicas en galletas con microalgas. <http://hdl.handle.net/10251/119534>
20. Severini, C., Derossi, A., & Azzollini, D. (2016). Variables affecting the printability of foods: Preliminary tests on cereal-based products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 281-291. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.001>
21. Wegrzyn, T.F., Golding, M., Archer, R.H., (2012). Food Layered Manufacture: a new process for constructing solid foods. *Trends Food Sci. Technol.* 27 (2), 66e72
22. Yang, F., Zhang, M., Prakash, S., & Liu, Y. (2018a). Physical properties of 3D printed baking dough as affected by different compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (November 2017). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.001>