

INFORME TÉCNICO DE SEGUIMIENTO

PROGRAMA ASTURIAS

DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE I+D+i			
Referencia proyecto	IDI/2021/000426		
Acrónimo	3DTEXT		
Título del Proyecto	Investigación en estrategias de valorización de subproductos generados en la industria alimentaria dirigidas al desarrollo de alimentos con nuevas texturas y funcionalidades mediante tecnología de impresión 3D		
Periodo de Justificación	Desde:	01/05/2022	Hasta: 31/12/2023

En Noreña , a 22 de marzo de 2024

1. MEMORIA TÉCNICA

Explique **DETALLADAMENTE** las actividades realizadas, incluyendo la descripción de la metodología empleada, con referencia expresa a los hitos, tareas y plan de trabajo de la solicitud.

El plan de trabajo diseñado para la ejecución del proyecto 3DTEXT está compuesto **4 HITOS** (o paquetes de trabajo) y por un total de **13 tareas** repartidas a lo largo de los **20 meses** contemplados como período de ejecución del proyecto (desde **01/05/2022** hasta **31/12/2023**). El presente informe recoge las actividades llevadas a cabo, y los resultados obtenidos, en el período correspondiente a las anualidades 2022 y 2023 (desde el 01/05/2022 hasta el 31/12/2023).

Como se ha comentado anteriormente, no ha habido desviaciones, incidencias y/o modificaciones relevantes respecto a la solicitud presentada, por lo que los HITOS y tareas ejecutadas y finalizadas durante el período de ejecución han sido:

- **HITO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS MATRICES ALIMENTARIAS FRESCAS (SUBPRODUCTOS) Y DISEÑO DE PROTOTIPOS 3D.**
 - T1.1. Selección de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria.
 - T1.2. Estabilización y caracterización de los subproductos seleccionados
 - T1.3. Definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas al producto final
- **HITO 2: FORMULACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MASAS ALIMENTARIAS.**
 - T2.1. Formulación y evaluación de la procesabilidad de las masas alimentarias en proceso de extrusión.
 - T2.2. Selección de las masas finales: caracterización y estudio de la estabilización de las formulaciones
- **H3. FUNCIONALIZACIÓN DE MASAS ALIMENTARIAS FINALES**
 - T3.1. Estrategias de incorporación de pre/probióticos
 - T3.2. Incorporación de ingredientes naturales (estrategia clean-label) para mejora de las propiedades nutricionales y organolépticas
 - T3.3 Selección de las masas finales: determinación de la procesabilidad final, caracterización nutricional y estudio de la estabilización de las formulaciones
- **H4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS 3D CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES**
 - T4.1. Determinación de las características para asegurar la viabilidad del diseño y la textura buscada
 - T4.2. Optimización de los parámetros de proceso de la tecnología 3D de extrusión e inkjet
 - T4.3. Desarrollo de los prototipos 3D mediante tecnología de extrusión
 - T4.4. Desarrollo de la textura visual mediante tecnología inkjet
 - T4.5. Caracterización de los prototipos (nutricional, funcional, organoléptica, vida útil)

A continuación (Figura 1) se recoge el cronograma del proyecto 3DTEXT.

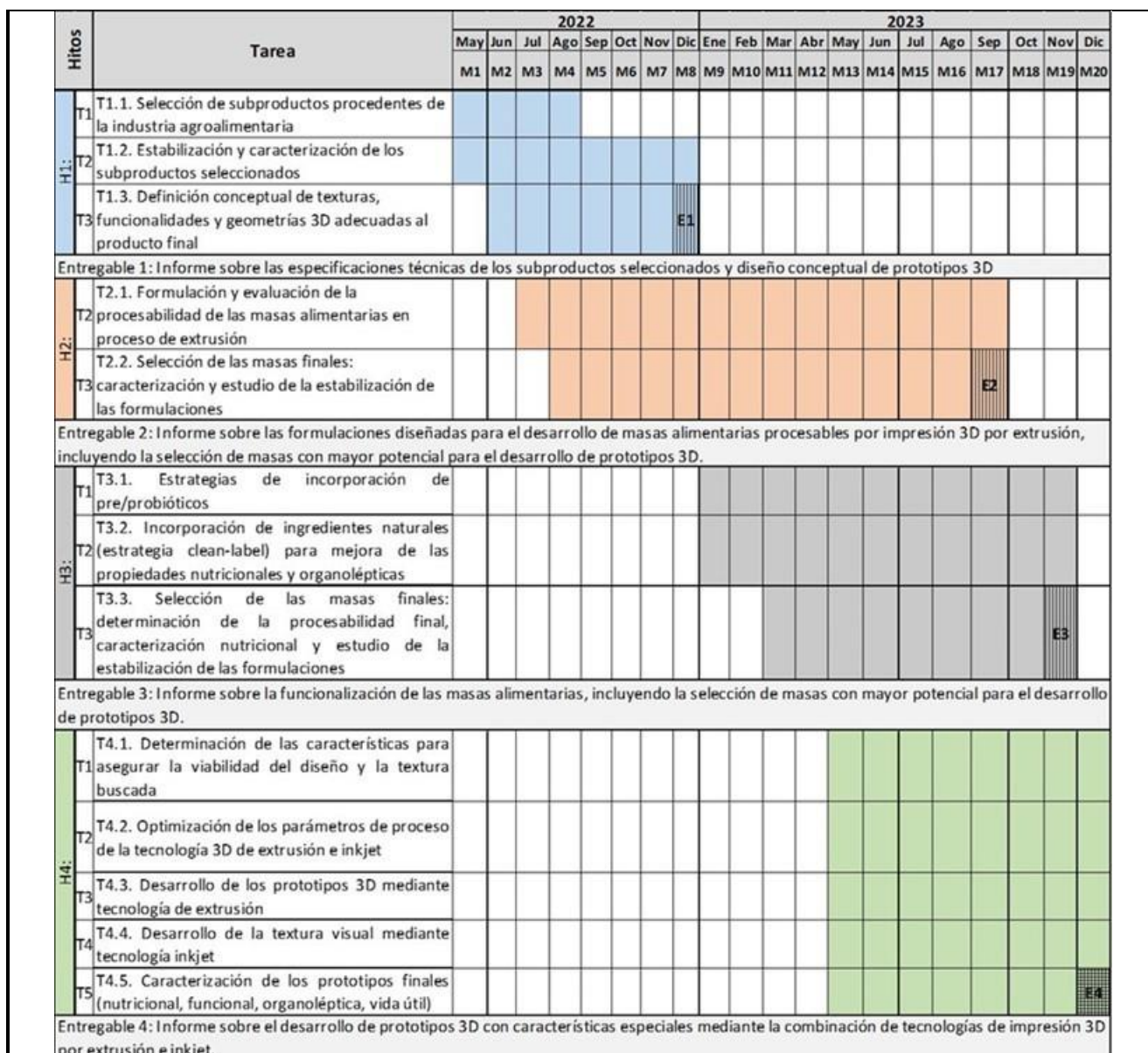


Figura 1. Cronograma del proyecto 3DTEXT

A continuación, se detallan los trabajos realizados, así como los resultados más relevantes obtenidos.

H.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS MATRICES ALIMENTARIAS FRESCAS (SUBPRODUCTOS) Y DISEÑO DE PROTOTIPOS 3D

T1.1. Selección de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria

El objetivo de esta tarea fue llevar a cabo el estudio e identificación de un portfolio de posibles matrices alimenticias (materias primas) a partir de las cuales se trabajará en las siguientes tareas e hitos del plan de trabajo para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto. Siguiendo un enfoque de **Economía Circular**, las materias primas seleccionadas proceden de **subproductos generados en la industria agroalimentaria de transformación/procesado**. Se trata de matrices que, siendo perfectamente aptas para el consumo y aprovechamiento, no se incluyen en la cadena de comercialización por incumplimiento de especificaciones de producto en cuanto a tamaño, forma y demás aspectos “físicos”.

Para la consecución del objetivo marcado en esta tarea se llevó a cabo un estudio bibliográfico pormenorizado. Para ello se recurrió a la recopilación de la información científico-técnica, abarcando desde informes sectoriales de organismos, tanto del Estado como privados, hasta estudios y artículos publicados en revistas científicas internacionales. Esta búsqueda bibliográfica se hizo a través de plataformas de vigilancia

tecnológica y recursos tales como Cordis, Redalyc, SciELO, BASE, ISSN. International Standard Serial Number, REDIB, ERIC, RefSeek, JURN, DOAJ, ScienceResearch, iSEEK Education, ScienceDirect, ERIH Plus, Digital CSIC, CERN Document Server, Scopus, PubMed y Teseo.

Las referencias de las fuentes bibliográficas utilizadas para el desarrollo de esta tarea se muestran a continuación:

- Plataforma de la UE sobre pérdidas y desperdicio de alimentos. https://food.ec.europa.eu/safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/eu-platform-food-losses-and-food-waste_en?prefLang=es
- Más alimento, menos desperdicio. Memoria anual 2020. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Anuario de Estadística del MAGRAMA.
- Anuario de Estadística Agroalimentaria del MAGRAMA (2015). Parte Tercera: Estadísticas Agrarias y Alimentación.
- MERCASA 2016. Alimentación en España. Producción, Industria y Consumo. Distribución y Consumo N.º 145, Edición 2015/2016.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2006). Guía de mejores Técnicas disponibles en España para el sector de transformados Vegetales.
- Cuantificación de materias primas de origen vegetal. Proyecto PSE PROBIOGAS, Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España (2010).
- INE, Encuesta Anual de Productos, 2021.
- Reportajes e Informes sectoriales Alimarket 2021.
- Gobierno del Principado de Asturias. Consejería de Fomento. Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Plan estratégico de Residuos del Principado de Asturias 2014-2024.
- FAO, Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo - Alcance, causas y prevención; Roma, Italia, 2012; pp 1-33
- Informe sobre despilfarro alimentario en España: datos estadísticos, origen y legislación para reducirlo. Julio 2017, Ana Alonso y Susana Sastre.
- LAFARGA POYO, T. V., et al. Revalorización de los subproductos de la industria de transformación de vegetales. 2018.
- MADUREIRA, A. R., et al. Recuperación y revalorización del lactosuero para la producción de nuevos productos con propiedades funcionales. 2009.
- PELAYO, Maite. Lactosuero, de residuo a aditivo alimentario. Despertar lechero, 2009.
- MAMMARELLA, Enrique José; MANZO, Ricardo Martín; SIHUFÉ, Guillermo Adrian. Capítulo 1. Alimentos: Desarrollo de alimentos y bioprospección a partir de productos y subproductos de origen lácteo. 2021.
- ORDAZ-RODRÍGUEZ, Silvia Betzabe, et al. Aprendiendo a revalorizar los subproductos y su aplicación en productos cárnicos. Epistemus (Sonora), 2022, vol. 16, no 33, p. 55-62.
- GONZÁLEZ GIL, Mateo. Estudio de viabilidad para aprovechamiento de subproducto de la línea de trozos de pollo. 2021.
- JIMÉNEZ COLMENERO, Francisco. Productos cárnicos funcionales: Oportunidades y desarrollo. 2016.
- AINIA (1999): Guía Tecnológica: Mejores técnicas disponibles en el sector cárnico
- El sector cárnico en España. ANICE – Asociación Nacional de Industrias Cárnicas de España. 2022.
- SEIJAS HERRERO, Jesús, et al. Establecimiento de una línea de procesado de subproductos de pescado para la elaboración de productos de valor añadido tipo hamburguesas. 2018. Tesis de Licenciatura.
- CASTILLO MORGADO, Lucía de. Tendencias y desafíos de la impresión 3D en el procesado de alimentos. 2020.
- GALICIA, D. E. EL SECTOR CONSERVERO DE PESCADOS Y MARISCOS. 2014.

- LOBO, Anna Picinelli; BULLÓN, Amada Garitas; VALLES, Belén Suárez. La magaya de la actividad sidrera: fuente de compuestos bioactivos de elevado interés Ácidos triterpénicos. Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA, 2021, no 24, p. 48-51.
- Informe del Desperdicio Alimentario en la Industria y la Distribución en España. 2020. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- <https://www.nanocellfarms.com/>
- Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Conserveras de pescado. Gobierno Vasco

Asimismo, y concretamente para los casos concretos de la magaya y los destríos generados de la industria hortofrutícola (principalmente kiwi y arándano) se mantuvieron reuniones con empresas asturianas; tanto en el caso de llagares de sidra para la magaya (algunos de ellos nos cedieron magaya para posteriormente realizar los correspondientes desarrollos previstos en los Hitos 2 y 3), como con productores de kiwi y arándano, quienes nos dieron una visión global de las operaciones de clareo y correspondiente destrío que se genera en el Principado de Asturias. Finalmente, y en base a este estudio, se seleccionaron una serie de subproductos a utilizar en el proyecto 3DTEXT (ver Tabla 1).

Los criterios que se han seguido para la selección de los subproductos fueron:

- Se ha priorizado aquellos subproductos cuya valorización generan un **mayor impacto** en las industrias regionales.
- Se ha prestado especial atención a la **disponibilidad** en términos de volumen, estabilidad y demás características tecnológicas y logísticas necesarias para una previsible viabilidad de su uso como materia prima en el desarrollo de nuevos productos mediante impresión 3D.
- También se ha tenido en consideración que la **naturaleza** de los subproductos seleccionados sea compatible con las características físico-químicas y reológicas requeridas para el proceso tecnológico de la impresión 3D por extrusión.

En relación con el número de materias primas a seleccionar, el objetivo planteado en la memoria del proyecto 3DTEXT fue de **1-3 subproductos de cada uno de los subsectores considerados** (cárnico, pescado y hortofrutícola), resultando un **mínimo de 3 y un máximo de 9 materias primas** con las que se trabajará en las siguientes tareas e HITOS. Finalmente se ha realizado una primera selección que aparece recogida en la Tabla 1.

Tabla 1. Listado de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria seleccionados para el proyecto 3DTEXT

Subsector	Tipo	Comentarios	Razón de la selección
HORTOFRUTÍCOLA	Arándano y kiwi de destrío	Productos que no cumplen las especificaciones para su comercialización, pero que son perfectamente aptos para el consumo	Gran incidencia en Asturias
	Magaya	Subproducto de la manzana generado durante el proceso de producción de sidra	Gran incidencia en Asturias
	Bio Nanocelulosa bacteriana (más conocido como "nata de coco")	Obtenida a través de la fermentación del agua de cocos que no cumplen especificaciones para su venta. Se trata de un alimento de calidad con muy pocas aplicaciones en el mercado actual, a pesar del atractivo valor nutritivo que ofrece a los consumidores.	Puede aportar parámetros de textura interesantes para la impresión 3D Alto contenido en fibra
CÁRNICO	Descartes de pollo	Subproductos generados en la industria de transformación del pollo (actualmente se desechan en su mayoría como residuo SANDACH Categoría 3)	Gran volumen a nivel nacional Alto contenido en proteínas
PESCADO	Subproductos de la fabricación de conservas de bonito	Subproductos generados en la industria conservera (actualmente se desechan en su mayoría como residuo SANDACH Categoría 3)	Gran volumen a nivel nacional Alto contenido en proteínas

LÁCTEO	Lactosuero (parte proteica)	Subproducto generado en la fabricación de queso	Gran incidencia en Asturias Ingrediente de interés tecnológico
--------	-----------------------------	---	---

T1.2. Estabilización y caracterización de los subproductos seleccionados

Como se puede observar en la selección de subproductos realizada en la tarea anterior (ver Tabla 1), en todos los casos se trata de matrices alimentarias frescas perecederas. Por lo tanto, el estado en el que se encuentran estos subproductos (en términos de carga microbiológica) es muy heterogéneo, por lo que requieren de un proceso de estabilización microbiológica para poder garantizar la seguridad alimentaria.

Se ha estudiado la viabilidad de diferentes procesos de estabilización microbiológica (altas presiones hidrostáticas (HPP), procesos térmicos como pasteurización y esterilización, congelación, etc.) en términos de eficiencia, disponibilidad de la tecnología y factores económicos. Como resultado, se han seleccionado los siguientes procesos para asegurar la estabilización de los subproductos sin alterar (o con alteración mínima) de las propiedades nutricionales:

- **Congelación:** por simplicidad, se ha utilizado esta técnica para preservar la materia prima durante la ejecución del proyecto
- **Tratamiento térmico: pasteurización/esterilización.** Se diseñó una tabla (ver Tabla 2) con los coeficientes de tiempo de **reducción decimal (D)** y **constante de resistencia térmica (z)**, en la que se realizó una simulación del número de reducciones logarítmicas que se produciría para cada tipo de microorganismo en función del tipo de tratamiento térmico aplicado. A partir de estos datos se podrá diseñar un tratamiento de estabilización mediante tratamiento térmico. En este caso, a partir de los valores *D* y *z* de cada microorganismo, obtenidos a partir de *Handbooks* y demás documentación científico-técnica, se realizaron los correspondientes cálculos matemático-estadísticos para determinar esos valores de tiempo de letalidad en términos de reducción logarítmica previsible a alcanzar. Para ello, se empleó el planteamiento descrito en el método general ideado por *Bigelow et al.*, posteriormente modificado por *Ball*, en el que se calcula la letalidad acumulada a través de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{1}{10^{\frac{T_{ref}-T}{z}}}$$

Posteriormente se evalúa el factor de reducción decimal a través de la fórmula:

$$P = \int_{t=0}^t L \times dt$$

Los recursos bibliográficos consultados para poder realizar los cálculos y determinar la letalidad y los factores de reducción logarítmica decimal han sido:

- Pagan, 1997
- CCFRA Guideline Nº 51
- Murphy, et al (2004)
- CFRA Guideline Nº 51
- Goodfellow, et al. (1978)
- Tomlies and Ordal (1976)
- COOK CHILL SYSTEMS IN THE FOOD SERVICE SECTOR revision I)" Food Safety Authority of Ireland 2006
- Alvarado, 1996
- Sillijer, et al, 1983
- Stumbo 1993
- Biotecnología aceituna

- Stumbo 1993
- R. Eley , 1992 (Ed. Acribia)
- Line, et al (1991)

Tabla 2. Simulación procesos térmicos en función de las constantes *D* y *z*

Microorganismo	Fuente	Matriz	T _{ref} (°C)	D _{ref} (min)	z (°C)	n	P _{ref} (min)	P ₇₀	D ₇₀	P ₇₅	D ₇₅	P ₈₀	D ₈₀	D ₉₀	n ²	P ₇₀	P ₇₅	P ₈₀
<i>Escherichia coli</i>	Noemí Bervis, 2013	Zumo manzana	64	0,232	4,2	6	1,392	0,052	0,009	0,0	0,0003	0,0	0,0000	1E-07	10	0,0865	0,0032	0,0004
<i>Aspergillus niger</i>	CCFRA Guideline Nº 51	Cerveza pilsed	60	0,04	3,7	6	0,24	5E-04	8E-05	0,0	2E-06	0,0	0,0000	3E-10	11	0,0009	2E-05	2E-06
<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	CCFRA Guideline Nº 51	Zumo manzana	57	32	5	6	192	0,482	0,08	0,0	0,0051	0,0	0,0008	8E-06	10	0,8038	0,0507	0,008
<i>Listeria monocytogenes</i>	Pagan, 1997	-	62	0,34	5,8	6	2,04	0,1	0,01	0,0	0,001	0,0	0,0003	0,0000	10	0,14	0,013	0,003
<i>Listeria monocytogenes</i>	CCFRA Guideline Nº 51	Cárnico	70	0,33	7,5	6	1,98	2,0	0,33	0,3	0,052	0,1	0,0153	0,0007	10	3,30	0,523	0,153
<i>Listeria monocytogenes</i>	Murphy, et al (2004)	Pollo picado	70	0,085	5,9	6	0,51	0,5	0,09	0,0	0,008	0,0	0,0017	0,0000	10	0,85	0,082	0,017
<i>Yersinia Enterocolitica</i>	CCFRA Guideline Nº 51	Suero salino	60	0,5	5,2	6	3	0,0	0,01	0,0	0,000	0,0	0,0001	0,0000	10	0,06	0,004	0,001
<i>Salmonella spp</i>	Goodfellow, et al. (1978)	Carne	62,8	0,65	5,6	6	3,9	0,2	0,03	0,0	0,003	0,0	0,0006	0,0000	10	0,34	0,029	0,006
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Tomlins and Ordal (1976)	Caldo	60	3,2	7,5	6	19,2	0,9	0,15	0,1	0,024	0,0	0,0069	0,0003	10	1,49	0,235	0,069
<i>Lactobacillus spp</i>	Alvarado, 1996	Leche	82,2	0,57	7	6	3,42	189,2	31,53	26,3	4,381	7,1	1,1753	0,0438	10	315,31	43,812	11,753
<i>Staphylococcus aureus</i>	Sillijer, et al, 1983	-	65,5	2	10	6	12	4,3	0,71	1,1	0,178	0,4	0,0710	0,0071	10	7,10	1,783	0,710
<i>Lactobacillus spp</i>	Stumbo 1993	-	65,5	1	10	6	6	2,1	0,35	0,5	0,089	0,2	0,0355	0,0035	10	3,55	0,891	0,355
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Biotecnología aceituna	Aceitunas	60	0,59	5,2	6	3,54	0,0	0,01	0,0	0,000	0,0	0,0001	0,0000	10	0,07	0,005	0,001
<i>Leuconostoc spp</i>	Stumbo 1993	-	65,5	1	10	6	6	2,1	0,35	0,5	0,089	0,2	0,0355	0,0035	10	3,55	0,891	0,355
<i>Mohos y levaduras</i>	R. Eley, 1992 (Ed. Acribia)	-	65	3	5	6	18	1,8	0,30	0,1	0,019	0,0	0,0030	0,0000	10	3,00	0,189	0,030
<i>Enterococcus faecalis</i>	¿?	-	70	2,95	10	6	17,7	17,7	2,95	4,4	0,741	1,8	0,2950	0,0295	10	29,50	7,410	2,950
<i>E coli O157:H7</i>	Line, et al (1991)	Carne	62,8	0,47	5	6	2,82	0,1	0,02	0,0	0,001	0,0	0,0002	0,0000	10	0,17	0,011	0,002

Del mismo modo, se ha llevado a cabo la caracterización completa de los subproductos, tanto microbiológica como físico-química:

- i) **Microbiológica**, mediante el análisis de aerobios mesófilos, Enterobacterias, bacterias ácido láctica, mohos y levaduras;
- ii) **Físico-química**, para determinar las características nutricionales y de composición cuantitativa propias de los mismos (macro y micronutrientes).

La evaluación microbiológica y química de la seguridad alimentaria se ha realizado en base al Reglamento (CE) no. 2073/2005 sobre criterios microbiológicos de higiene y seguridad, y el Reglamento (CE) no 1881/2006 sobre niveles máximos para determinados contaminantes (por ejemplo, micotoxinas), en particular para proteger la salud de la población más sensible (niños y ancianos). El objetivo es que la caracterización nutricional cumpla con la legislación vigente, de acuerdo al Reglamento 1169/2011 de 25 de octubre de 2011, relativo a la información alimentaria facilitada al consumidor. Esta información servirá para tener conocimiento del tipo de masa alimentaria que se desarrollará en el HITO 2.

• **Metodología de trabajo seguida para la caracterización microbiológica:**

Como ya se ha comentado, se han seleccionado 4 parámetros ampliamente utilizados en caracterización microbiológica. Estos parámetros son los aerobios mesófilos, las enterobacterias, las bacterias ácido lácticas y mohos y levaduras, los cuales se han cuantificado de acuerdo a los siguientes PNT's (Protocolos Normalizados de Trabajo):

- **Aerobios Mesófilos:** definen la flora total de microorganismos presentes en el alimento, con lo que se establece una idea general sobre la carga microbiana presente en las muestras. Para su recuento se ha usado un método en placa para determinar el número de células viables o unidades formadoras de colonias (ufc). Siguiendo metodología clásica (ISO 4833- Directiva general para el recuento de microorganismos. Método por recuento de colonias a 30°). El método consiste en sembrar por duplicado 1mL de muestra líquida o 1mL de dilución madre en placas Petri, siendo el medio de cultivo Agar. Se repite esta operación para diferentes diluciones decimales de la muestra líquida. Las placas son incubadas aeróbicamente a 30°C durante 72 horas para realizar los recuentos. Después de discurrido este tiempo se retienen las placas (para las distintas diluciones) que tienen, como máximo, 300 colonias en dos diluciones sucesivas (al menos una placa debe tener 15 colonias como mínimo). Para calcular el número N de microorganismos por gramo se usa la siguiente expresión:

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1n_2)d}$$

Donde $\sum C$ es la suma de las colonias contadas en todas las placas retenidas, n_1 es el número de placas retenidas en la primera dilución, n_2 número de placas retenidas en la segunda dilución y d es el nivel de dilución correspondiente a la primera dilución retenida.

- **Enterobacterias:** los niveles de Enterobacterias indican el estado higiénico-sanitario de las muestras. Niveles altos de esta familia de microorganismos indican un déficit en las condiciones de manipulación de los alimentos y/o empleo de materias primas excesivamente contaminadas. Para su recuento se ha usado la norma ISO 7402 (Directiva general para el recuento, sin revivificación, de las enterobacteriaceae. Técnica del NMP y método por recuento de colonias), que requiere de 24 horas para realizar el ensayo. El método consiste en sembrar por duplicado 1mL de la muestra líquida en sendas placas Petri. Luego se vierten 15mL de VRBG (Agar bilis cristal violeta y glucosa) a 45°C. Una vez que se solidifica se cubre con otros 10mL-15mL del mismo medio. Se deja solidificar e incubar a 37°C durante 24 horas. Se repite esta operación para diferentes diluciones decimales de la muestra líquida. En las placas que contengan menos de 150 colonias, se deben contar aquellas que tengan un diámetro mayor o igual que 0.5mm, de color rojo-violeta y, a veces, rodeadas de un halo de precipitación o mucosas. A estas colonias se las considera potenciales colonias de enterobacterias. De estas colonias se toman cinco colonias características de cada placa retenida y se siembran por separado en placas de AN (agar nutritivo) y se incuban a 37°C durante 24 horas. Para la confirmación bioquímica se usa la prueba de la oxidasa sobre las colonias aisladas. Para calcular el número N de microorganismos por gramo se usa la siguiente expresión:

$$N = \frac{\sum a}{(n_1 + 0.1n_2)d}$$

La única diferencia con la ecuación anterior es que en este caso se usan las sumas de las colonias contadas después de identificación ($\sum a$).

- **Bacterias Acido Lácticas (BAL):** las BAL influyen en los procesos fermentativos que se producen para la obtención de ciertos alimentos. En muchas ocasiones (sobre todo en productos cárnicos, productos envasados al vacío, etc.) pueden causar reacciones de deterioro. Así, en muchos grupos de alimentos su presencia en niveles elevados se asocia con una inmediata alteración del producto debido a la acidificación que producen durante la fermentación láctica. Para su recuento se usa la norma ISO 13721, según la cual se necesitan 72h. El método consiste en sembrar por duplicado 1mL de muestra líquida en dos placas Petri (medio agar). La incubación tiene lugar a 30°C y dura 72 horas. Para calcular el número N de microorganismos por gramo se usa la siguiente expresión:

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1n_2)d}$$

- **Mohos y levaduras (MyL):** los mohos y las levaduras son microorganismos eucariotas que se utilizan para la elaboración de algunos alimentos (queso, pan...). En ocasiones pueden causar reacciones de deterioro. El método consiste en sembrar por duplicado en dos placas Petri 1mL de muestra líquida. La incubación tiene lugar a 20°C y dura 72 horas. Para calcular el número N de microorganismos por gramo se usa la siguiente expresión:

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1n_2)d}$$

- **Metodología de trabajo seguida para la caracterización físico-química:**

Para la caracterización físico-química se han analizado los parámetros de macronutrientes: Hidratos de Carbono, Azúcares, Grasas y Proteínas, además de las cenizas, la humedad, el pH y la actividad de agua (a_w). Se han cuantificado de acuerdo a los siguientes PNT's (Protocolos Normalizados de Trabajo):

- **Humedad (Gravimetría):** el procedimiento se basa en la determinación del contenido de humedad (contenido en agua) mediante la desecación de la muestra en estufa (100°C-105°C).y determinación del contenido en humedad mediante gravimetría. La determinación de humedad se realizó siguiendo

el método *AOAC Official method 950.46 Moisture in meat*. Una vez homogeneizada la muestra, se pesa y se introduce durante 12 horas como mínimo, en la estufa regulada a $102 \pm 2^\circ\text{C}$. Posteriormente se saca de la estufa y se introduce en el desecador, hasta que alcance la temperatura ambiente. Se pesa el conjunto en la balanza analítica con resolución 0.0001g.

- **Cenizas (Gravimetría):** Las cenizas constituyen la materia inorgánica que forma parte constituyente de los alimentos (sales minerales). Las cenizas son los minerales presentes en el alimento y se encuentran generalmente en forma de sales; las principales son: el Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y el Fósforo (PO₄). La determinación de cenizas se realizó siguiendo el método *AOAC oficial Method 920.153 y 923.03*, basado en la determinación del contenido de cenizas en productos cárnicos mediante la desecación previa de la muestra, posterior incineración en horno a 550°C , y determinación de la masa del residuo por gravimetría. Este proceso de incineración destruye la materia orgánica, quedando solamente materia inorgánica en la muestra. Es un método eficiente ya que determina tanto cenizas solubles en agua, insolubles y solubles en medio ácido. En este método toda la materia orgánica se oxida y el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza.
- **Hidratos de carbono (HC):** la determinación de Hidratos de carbono se realizó siguiendo el método de la *Foods and Agriculture organization of united Nations FAO, chapter 2 and chapter 3*. Los hidratos de carbono se pueden obtener mediante el siguiente cálculo matemático, el cual se aplicará a carne y productos cárnicos (con la excepción de derivados cárnicos que contienen como ingrediente principal cereal u otro producto vegetal) llevando a cabo el siguiente cálculo:

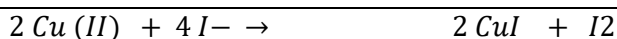
$$\%HC = 100 - \%humedad - \%cenizas - \%proteína\ total - \%grasa\ bruta$$

Se calculará también el %HC sobre extracto seco, teniendo en cuenta el % de humedad de la muestra, según el siguiente cálculo:

$$\%HC\ (ss) = \%HC / \%extracto\ seco$$

- **Grasas (Hidrólisis + Soxhlet):** la determinación de grasa total o bruta se realizó siguiendo el método *AOAC Official Method 991.36 Fat (Crude) in Meat and Meat Products*. El extracto etéreo o grasa bruta es el conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con disolventes orgánicos (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como extractante mezclas de disolventes orgánicos. Así, el procedimiento se basa en la determinación del porcentaje en grasa total en productos cárnicos mediante la extracción de la grasa de la muestra (previamente hidrolizada y desecada) por medio de éter etílico y éter de petróleo. Eliminación del disolvente por evaporación, desecación del residuo y posterior determinación por gravimetría una vez alcance temperatura ambiente. La legislación vigente establece, en el caso de productos cárnicos, un % de grasa máximo (expresado sobre extracto seco) que varía en función del tipo de producto cárnico.
- **Azúcares (Volumetría):** los azúcares totales solubles en agua se extraen en alcohol etílico diluido, después de la eliminación del alcohol se valoran por el método de *Luff-Schoorl* antes y después de la inversión. El reactivo de *Luff-Schoorl* es poco alcalino, siendo por ello un agente oxidante débil que requiere un tiempo de ebullición prolongado. Los principales azúcares solubles totales una vez extraídos del producto mediante el alcohol etílico diluido (40%), y eliminado el exceso de alcohol, se valoran por el método de *Luff-Schoorl*, antes y después de la inversión. A continuación hay dos etapas:
 1. Valoración de los azúcares reductores (glucosa, fructosa y galactosa).
 2. Valoración de azúcares totales después de la inversión.

Sea en forma de azúcares reductores o azúcar invertido, estos actúan sobre el Cu (II), reduciéndolo a Cu₂O, valorando el exceso de Cu (II) no reducido, por medio del Yodo producido en exceso de Yoduro Potásico:



Siendo valorado este Yodo desprendido con tiosulfato. Se expresan como azúcares en g/100g ó azúcares solubles totales.

- **Proteína (Metodo Kjendhal):** la determinación de proteína total se realizó siguiendo el método AOAC *Official Method 981.10 crude protein in meat*. Las proteínas influyen notablemente en la textura de los alimentos provenientes de fuentes animales. Las proteínas existen en los alimentos en combinación física o química con carbohidratos o lípidos. En 1883 el investigador danés *Johann Kjeldahl* desarrolló el proceso básico del conocido método actual de análisis de proteínas por el método *Kjeldahl*, más propiamente, para analizar nitrógeno orgánico. En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido sódico libera amoniaco el cual se destila recogiendo sobre ácido bórico formándose borato de amonio que se valora con ácido clorhídrico. El procedimiento se basa en la determinación del porcentaje de proteína total mediante un ataque de la muestra con Ac. Sulfúrico 95 %, y catalizador de Selenio, con lo que se transforma el nitrógeno orgánico en NH₄⁺, que en medio fuertemente básico permite la destilación del NH₃ por arrastre con vapor, recogiendo sobre ácido Bórico 4%, valorándolo posteriormente con HCl 0,1 N. Los resultados se expresarán en % proteína (g/100g), aunque se pueden expresar también como % (g/100g) de proteína sobre extracto seco teniendo en cuenta el % de humedad de la muestra.

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización microbiológica (ver Tabla 3) siguiendo la metodología de trabajo anteriormente expuesta. Además, se incluyen dos parámetros adicionales, como el pH y actividad de agua (a_w). También se muestran resultados de la caracterización físico-química (ver Tabla 4). Destacar que, para cada uno de los parámetros, se realizaron réplicas del orden n=5 para lograr una representatividad en los resultados.

Tabla 3. Resultados microbiológicos, pH y a_w

Muestra	Rcto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	pH	a _w	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g			
Arándano destrío	<1x10 ²	2x10 ¹	<1x10 ²	5x10 ¹	3,4	0,99	
Magaya	<1x10 ²	<1x10 ¹	<1x10 ¹	<1x10 ¹	3,9	0,42	Congelada, autoclavada y deshidratada por FIR
Nanocelulosa bacteriana							No analizado
Pollo descartes	4,4x10 ⁵	6,3x10 ²	<1x10 ¹	<1x10 ¹	6,1	0,98	Procedente del procesado de producto avícola
Bonito/Atún subproducto	3,1x10 ⁶	<1x10 ¹	<9,7x10 ⁵	<1x10 ¹	6,0	0,98	Procedente de la elaboración de conservas (en forma de migas)

Tabla 4. Resultados físico-químicos

Muestra	Hidratos de carbono (g/100 g)	Azúcares (g/100 g)	Proteínas (g/100 g)	Grasas (g/100 g)
Arándano destrío	15,0	4,9	<0,5	<0,5

Magaya	20,6	6,2	3,7	1,9
Pollo descartes	Trazas	Trazas	19,9	9,6
Bonito/Atún subproducto	Trazas	Trazas	24,9	11,5

Como primer subproducto con el que trabajar en el marco del proyecto 3DTEXT se seleccionó el **ARÁNDANO DE DESTRÍO**, es decir, arándanos que no cumplen las especificaciones para su comercialización, pero que son perfectamente aptos para el consumo (ver Tabla 1).

T1.3. Definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas al producto final

El desarrollo de alimentos por impresión 3D no sólo conlleva adaptar los mecanismos de impresión (como software o hardware) para el desarrollo de alimentos, sino que un aspecto clave para el correcto funcionamiento de una impresora alimentaria también radica en el ajuste de las masas alimentarias y, por ende, de los ingredientes que las componen, para que estos puedan interactuar de la mejor forma en el equipo de impresión y generar así los productos con las geometrías 3D establecidas. Por lo tanto, es evidente que las masas alimentarias a utilizar en impresión 3D de alimentos mediante la técnica de extrusión deben poseer unas **propiedades reológicas muy determinadas**. Pero no solo eso, sino que las masas alimentarias, una vez extruidas, deben garantizar la estabilidad del alimento, la compatibilidad con el post proceso (horneado, secado, etc.) y la velocidad de impresión (Jiang, H. *et al.* 2019; Tejada-Ortigoza, V. *et al.* 2022).

Si bien el desarrollo de las masas alimentarias se lleva a cabo en el siguiente HITO (**HITO 2**), en esta tarea se exponen los resultados obtenidos del estudio de potenciales parámetros de impresión, incluyendo texturas, funcionalidades y geometrías 3D más adecuadas para los prototipos finales. Estos parámetros definirán las siguientes capacidades de las masas alimentarias:

- i) **Capacidad de fluir a través de la boquilla de extrusión** (normalmente a temperaturas superiores a 30°C): es necesario que la viscosidad de la muestra sea lo suficientemente baja como para fluir a través de la boquilla (directamente relacionado con sus propiedades reológicas a la temperatura de proceso);
- ii) **Capacidad de adquirir solidez rápidamente al enfriarse** tras su paso por la boquilla de extrusión, lo que está directamente relacionado con los ingredientes y funcionalidades que conforman la masa alimentaria.

- **Parámetros del proceso de impresión que definen la geometría 3D**

Son las características que configuran a un prototipo alimentario para fijar su tamaño, su posición, el tipo de geometría, la velocidad de impresión, etc., en una determinada área para su correcta impresión de forma nítida y estable. Algunos de los parámetros más relevantes que definen el proceso de impresión 3D son (ver Figura 2):

- *Perímetro*: define la cantidad de perímetro o paredes que puede contener el alimento diseñado (si la pieza se rellena con paredes puras, el producto será totalmente sólido).
- *Espesor de línea de extrusión*: viene marcado por la anchura de la boquilla de extrusión utilizada.
- *Relleno*:
- *Densidad del relleno*: parámetro con el que se logra rellenar las piezas impresas, pudiendo ir desde el 0% (pieza hueca) al 100% (pieza maciza).
- *Patrón de relleno*: patrón geométrico que sigue el relleno de la pieza. El patrón de la capa inferior y superior suele ser diferente
- *Capas sólidas*: parámetro que define el número de capas sólidas de que se componen la pieza
- *Altura de capa*: define la altura de cada deposición o capa (cuantas más capas, mayor detalle en la impresión, aunque mayores tiempos de proceso). La altura de la primera capa es relevante ya que cuanto menor sea este parámetro con respecto a la altura de capa, mayor adhesión tendrá la pieza a

la superficie (crítico ya que hay que asegurar que la pieza no se mueve durante el proceso de impresión).

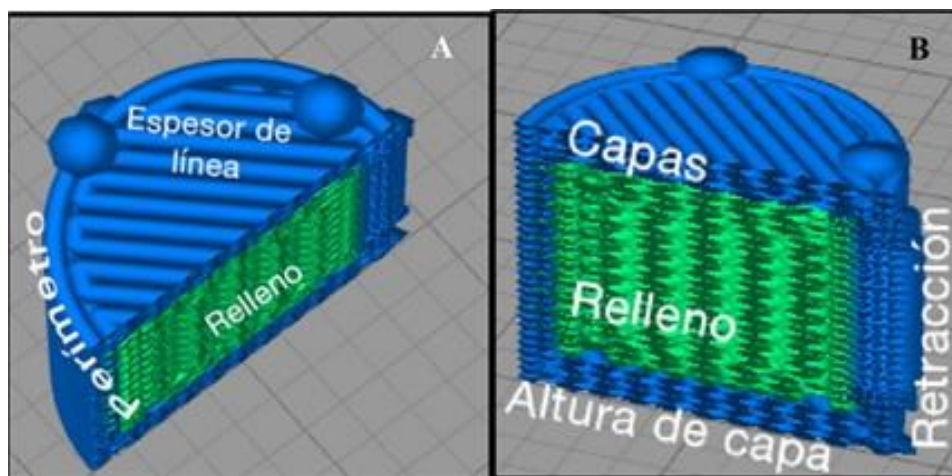


Figura 2. Parámetros de extrusión: A) Perímetros; B) Capas.

- **Definición de texturas óptimas para el procesado por impresión 3D mediante extrusión**

Uno de los objetivos del proyecto 3DTEXT es avanzar en la tecnología de impresión 3D para abordar el desarrollo de alimentos con características especiales dirigidos a **sectores poblacionales específicos**. Este objetivo se plantea en respuesta a **nuevas demandas de alimentos personalizados por parte de grupos poblacionales** no considerados hasta la fecha. En la siguiente tabla se recogen las patologías más habituales asociadas a grupos poblacionales relevantes que generan factores de riesgo que impactan directamente en el estado nutricional del individuo.

Tabla 5. Patologías comunes asociadas a grupos poblacionales concretos

Grupo poblacional	Patologías habituales	Factores de riesgo con impacto en estado nutricional
Población senior	Sarcopenia, osteoporosis, fragilidad, malnutrición, disfagia	<ul style="list-style-type: none"> • Situación fisiológica pro-inflamatoria • Apatía, falta de apetito • Polimedicación
Personas con discapacidad intelectual (DI) / enfermedad mental	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo de la patología concreta: • Obesidad y sobrepeso - Malnutrición - Síndrome metabólico - Diabetes Mellitus (más del doble de la población general) - Enfermedad cardiovascular - Estreñimiento - Disfagia 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de la patología concreta: - Patrones alimentarios poco saludables (solo el 8% de los adultos con DI cumplen con los criterios de una dieta equilibrada). - Dificultad para comer solos - Polimedicación - Deficiencia cognitiva (afecta a la compra, preparación de alimentos, etc.). - Mayor probabilidad de mostrar hábitos poco saludables (alcohol, tabaco, cafeína) - Dificultades de comunicación
Alzheimer y Demencia	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de memoria 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para comer solos - Falta de apetito - Polimedicación
Ictus Daño cerebral Paraplejia Tetraplejia	<ul style="list-style-type: none"> • Disfagia, alteraciones conductuales y atencionales (apatía, distractibilidad, falta de programación, etc.), patologías asociadas (HTA, DM, colesterolemia, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas psicológicos asociados (depresión). - Dificultad para comer solos - Hábitos poco saludables - Polimedicación

Como se puede ver, una patología común en todos los grupos poblaciones es la **disfagia**. Se calcula que, además de ser frecuente en ancianos, alrededor del 33% de las personas que han sufrido un accidente

cerebrovascular, y hasta el 50% de las personas que padecen afecciones neurológicas, sufren esta afección. Otros grupos poblacionales que tienen riesgo de padecerla son pacientes con cáncer de garganta o cerebral y personas con parálisis cerebral. Resumiendo, padecen problemas de disfagia: i) el 13% de las personas de entre 65 a 70 años, ii) el 16% de las personas entre 70 a 79 años; y iii) el 33% de las personas con más de 80 años. Además, puede afectar hasta al 47% de los pacientes de edad avanzada hospitalizados y a más del 50% de los ancianos que se encuentran en residencias (<https://www.nestlehealthscience.es/condiciones-medicas/envejecimiento/disfagia/vivir-con-disfagia/prevalencia>).

Dado que ha quedado demostrado que la disfagia es uno de los problemas más frecuentes en diferentes grupos poblacionales, en el proyecto 3DTEXT se está prestando especial atención a masas alimentarias diseñadas para su **fácil masticación y deglución**. Sin embargo, la gran mayoría de las matrices alimentarias existentes no presentan ni las características reológicas ni las propiedades mecánicas adecuadas para su procesado (tal es el caso de la carne, pescado, marisco, frutas, vegetales, etc.).

La forma más habitual de adaptar la comida a las necesidades de gente que padece disfagia es modificar su textura mediante trituración para convertirla en productos tipo puré. Aunque es una solución válida, esta metodología no permite innovar en los platos que se preparan, siendo visualmente poco atractivos para el consumidor que, además, debe recurrir a este tipo de productos de forma habitual. Ello deriva en una escasa aceptación y falta de motivación, lo que puede desembocar en problemas de nutrición al dejar de consumir estos productos. Por ello, la capacidad que otorga la impresión 3D de generar productos con geometrías diferentes permite el desarrollo de productos visualmente atractivos para el consumidor. Sin embargo, para que la masa alimentaria sea capaz de conservar una geometría determinada debe tener la capacidad de solidificarse instantáneamente tras el proceso de extrusión, lo que representa una dificultad adicional.

Por lo tanto, es necesario diseñar masas alimentarias con una textura óptima que viene definida por propiedades que pueden evaluarse reológicamente, de acuerdo con la bibliografía consultada, caracterizando como mínimo su **curva de flujo**, **barrido de esfuerzo** y **barrido de frecuencia** (Liu, Z. *et al.* 2019; Maldonado-Rosas, R. *et al.* 2022; Tejada-Ortigoza, V. *et al.* 2022).

La **curva de flujo** es el ensayo rotacional de mayor importancia que se puede hacer con el reómetro. Este ensayo nos dará información sobre la viscosidad de la muestra y de cómo varía (en el caso de los fluidos no newtonianos) en función del esfuerzo cortante o la velocidad de deformación aplicada. En función de la forma de la curva se puede distinguir entre fluidos newtonianos y no newtonianos. Entre los no newtonianos, los más habituales en la industria alimentaria, se pueden a su vez distinguir entre fluidos pseudoplásticos, que son aquellos cuya viscosidad disminuye a medida que aumenta el esfuerzo cortante/velocidad de deformación; los dilatantes, cuya viscosidad aumenta a medida que aumenta el esfuerzo mecánico, y los plásticos de *Bingham*, con un comportamiento similar al de los fluidos newtonianos pero siendo necesario aplicar un esfuerzo inicial para que la muestra empiece a fluir. Cabe también destacar que los fluidos más interesantes en impresión 3D son los pseudoplásticos, debido a que la disminución de la viscosidad aparente que sufren a medida que son forzados a pasar por la boquilla de la jeringa resulta muy conveniente. La región Power Law que se encuentra en parte de la curva de flujo de los fluidos pseudoplásticos puede ser ajustada a diferentes modelos, utilizándose principalmente las ecuaciones de *Ostwald-de Waele* o *Herschel-Bulkley*. Del modelo de *Ostwald-de Waele* se puede obtener el **índice de comportamiento de flujo (n)** y el **coeficiente de consistencia (K)**, mientras que del *Herschel-Bulkley*, además de estos dos parámetros, se puede calcular el **esfuerzo de fluencia** (yield stress, τ_0).

- Cuanto más próximo sea el parámetro n al valor **1**, más componente **newtoniano** tendrá el material ensayado;
- Cuanto más próximo sea a **0**, mayor será el componente **pseudoplástico**;
- Si el valor es mayor de **1**, estaríamos ante un **material dilatante**.

Por tanto, bajos valores de n se relacionan con fluidos muy pseudoplásticos que sufrirán un descenso pronunciado en su viscosidad aparente a medida que son extruidos, facilitando su salida por la boquilla de la jeringa. Por otro lado, valores altos del parámetro K (coeficiente de consistencia) se relacionan con materiales difíciles de extruir. Finalmente, valores suficientemente altos del parámetro τ_0 garantizan que la tinta impresa

se sostiene a sí misma, soportando capas de impresión superiores y evitando el colapsamiento del material impreso (Tejada-Ortigoza, V. *et al.* 2022).

En cuanto a los **ensayos dinámicos**, los más importantes son el **barrido de esfuerzo** y el **barrido de frecuencias**. Durante los ensayos dinámicos se obtiene información sobre la viscoelasticidad del material, obteniéndose el valor del **módulo elástico (G')** y el **módulo viscoso (G'')**:

- Valores altos de G' indican un comportamiento más similar al de un sólido;
- Valores más altos de G'' denotan materiales con un comportamiento más similar al de un líquido.

Debido a que estos ensayos se realizan sobre la muestra sin desestructurar, es decir, la muestra no puede fluir, el esfuerzo cortante a aplicar debe de estar dentro de la **región viscoelástica lineal (RVL)**, explorándose dicha región mediante el barrido de esfuerzos. El barrido de frecuencias resulta más adecuado para analizar la magnitud de los módulos elástico y viscoso y caracterizar el grado de estructuración del material.

Descripción del método seleccionado para las caracterizaciones reológicas.

El reómetro utilizado es un reómetro rotacional Haake MARS II (Thermo Fisher) equipado con una unidad de control de temperatura Peltier, empleándose una geometría plato-plato de superficie dentada para evitar el deslizamiento de la muestra (PP35s).

Para la determinación de las **curvas de flujo**, se aplican velocidades de deformación de entre $0.1s^{-1}$ - $100s^{-1}$. Las curvas de flujo resultantes se ajustan al modelo de *Herschel-Bulkley*:

$$\tau\tau = \tau_0 + K\gamma^n$$

siendo τ el esfuerzo cortante (Pa), τ_0 el esfuerzo de fluencia (Pa), K el índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$) y γ la velocidad de deformación (s^{-1}).

Los **barridos de esfuerzos** se llevan a cabo para determinar la región viscoelástica lineal de las muestras a analizar. Para tal fin, los módulos G' y G'' se miden aplicando un esfuerzo cortante de entre 0.1Pa-10000Pa y una frecuencia de 1Hz.

Los **barridos de frecuencia** se realizan dentro de la región viscoelástica lineal de acuerdo con los resultados obtenidos previamente. El rango de frecuencias ensayado es de entre 0.01Hz-20Hz.

- **Tipo de texturas buscadas (tanto físicas como visuales) y funcionalidades demandadas**

La transformación de los subproductos en masas alimentarias con texturas y funcionalidades aptas para la aplicación buscada exige el cumplimiento obligado de dos aspectos:

- i) Que las masas alimentarias presenten unas **propiedades reológicas adecuadas** para su procesamiento mediante extrusión (parámetros reológicos anteriormente comentados), a la vez que conservan la forma una vez extruida la masa.
- ii) Que aporten un **valor añadido para la nutrición personalizada**, es decir, características nutricionales concretas (posibilidad de optar a alegaciones nutricionales y/o saludables), textura en boca adecuada para grupos poblacionales objetivo (principalmente con problemas de disfagia).

A través de una búsqueda bibliográfica, se han identificado una serie de potenciales ingredientes tecnológicos capaces de aportar capacidad gelificante a las masas alimentarias desarrolladas. En la

Tabla 6 se recogen dichos ingredientes junto a sus especificaciones de uso.

Tabla 6. Ingredientes tecnológicos (capacidad gelificante) y especificaciones de uso (J.M. Adriá 2016)

PRODUCTO	AGAR	KAPPA	IOTA	GELLAN	METIL
DOSIFICACIÓN	Gel blando: 2-4 gr. / L Gel duro: 5-10 gr. / L	Gel blando: 2 gr. / L Gel duro: 15 gr. / L	Gel blando: 3 gr. / L	Gel blando: 5 gr. / L Gel duro: 13 gr. / L	Gel blando: 7 gr. / L Acción pegamento: 30 gr. / L
HIDRATACIÓN	A partir de 80°C	A partir de 80°C	A partir de 80°C	A partir de 80°C	En frío a 3°C
TEMPERATURA DE GELIFICACIÓN	43°C*	48°C*	36/38°C*	70°C*	45-50°C*
RESISTENCIA TÉRMICA	70°C*	70°C*	60/70°C*	70/80°C*	50/60°C*
RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN	NO	NO	SI	NO	-----
TIPO DE GELIFICACIÓN	Termorreversible	Termorreversible	Termorreversible	Termorreversible	Termorreversible
TEXTURA FINAL (Elasticidad / Electo Sinéresis)	Firme, quebradiza, de corte limpio y con tendencia a la sinéresis.	Gel firme, Quebradizo con tendencia a la sinéresis.	Flexible, viscosa que vuelve a gelificar después de la agitación.	Flexible y firme.	Firme, elástica.
TRANSPARENCIA	Gel traslúcido pero no transparente.	Gel transparente.	Gel traslúcido pero no transparente.	Gel transparente / Amarillento.	Transparente.
APLICACIONES	Gelatinas frías y calientes.	Gelatinas lácteas, ámbar, aspíic, recubrimientos.	Gelatinas lácteas, gelatinas bebibles.	Gelatinas frías y calientes para moldear.	Gelatinas en caliente. En frío es líquido.

*Según Dureza del Gel

A continuación, se detalla el procedimiento que se sigue en los siguientes HITOS para alcanzar las texturas buscadas (tanto físicas como visuales) en los futuros prototipos alimentarios a desarrollar:

- 1) Estabilización de la materia prima (subproducto) y transformación en masa alimentaria con propiedades reológicas óptimas para su procesado por extrusión 3D – textura física
- 2) Incorporación a las masas de ingredientes naturales con función tecnológica y/o coadyuvantes para conseguir que la masa conserve su geometría una vez extruida.
- 3) Incorporación a las masas de ingredientes naturales para mejora del perfil nutricional/saludable, sin afcción de las propiedades reológicas.
- 4) Desarrollo de figura 3D con textura física óptima a través de impresión 3D por extrusión
- 5) Aplicación de textura visual óptima a través de impresión 2D inkjet.

- **Posibles geometrías 3D adecuadas al producto final buscado**

Para realizar los diseños 3D se ha seleccionado un software específico y disponible online (**Tinkercad** - <https://www.tinkercad.com/>). Aunque este software es relativamente básico, a este nivel desarrollo del proyecto resulta eficaz ya que no se requiere el diseño de figuras geométricas de gran complejidad.

El primer objetivo de esta subtaska fue el de seleccionar geometrías 3D básicas para utilizarlas a modo de prueba para evaluar: 1º) la procesabilidad de las masas alimentarias durante el proceso de extrusión; y 2º) la capacidad de dichas masas para conservar geometrías 3D tras el proceso de extrusión. Finalmente se seleccionaron dos figuras geométricas: a) cilindro, para evaluar la procesabilidad de la masa durante la extrusión; y b) pirámide, para evaluar la capacidad de la masa para mantener la geometría 3D tras la extrusión. En la Figura 3 se muestran imágenes de las figuras utilizadas. Hay que indicar que en este punto de la ejecución del proyecto no se tiene en cuenta todavía el diseño de la textura visual conseguida mediante la impresión 2D inkjet.

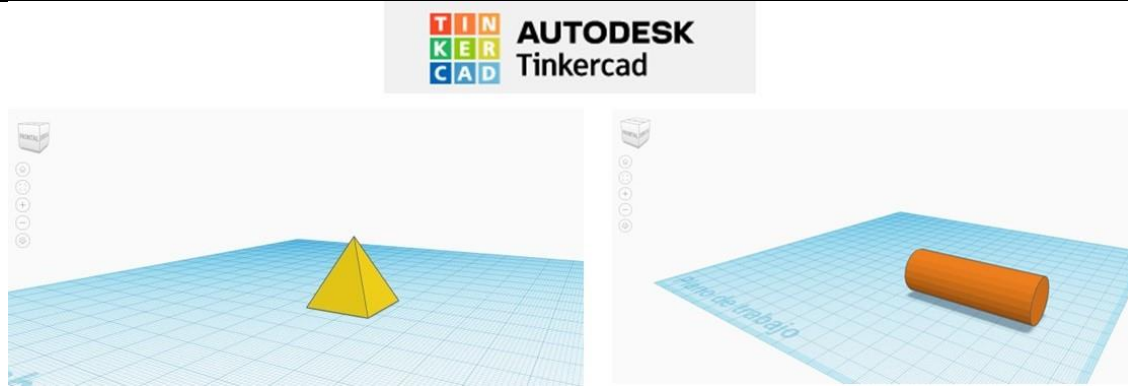
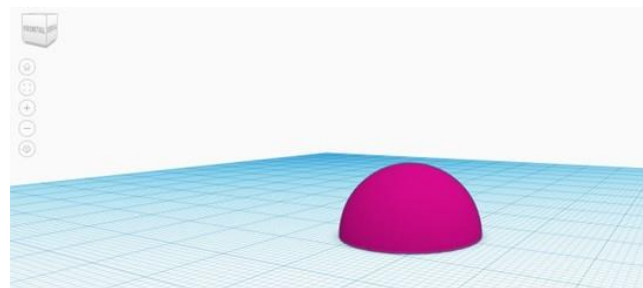


Figura 3. Geometrías 3D básicas seleccionadas para la etapa inicial del proyecto

Se ha hecho una selección preliminar de potenciales geometrías 3D a desarrollar una vez estén optimizadas las masas alimentarias:

- **Arándano y kiwi de destrío:** es el subproducto con el que se ha comenzado a trabajar en el proyecto. La aplicación más adecuada para una masa alimentaria basada en este subproducto es el sector de las gominolas y/o snacks con textura adaptada para los grupos poblacionales objetivo. En la Figura 4a se muestran posibles geometrías 3D finales.
- **Magaya:** por su naturaleza, seguirá una metodología de trabajo muy similar a los anteriores en relación a su potencial geometría 3D final.
- **Bio Nanocelulosa bacteriana (más conocido como “nata de coco”) y lactosuero:** estos productos, obtenido a través de la valorización de cocos no comercializables y del proceso de fabricación del queso, respectivamente, pueden proporcionar parámetros de textura interesantes a otras masas alimentarias, por lo que se utilizará como ingredientes tecnológicos naturales.
- **Descartes de pollo:** una aplicación muy interesante para este tipo de subproductos es el desarrollo de masas alimentarias con alto contenido en proteínas y de fácil masticación. Por lo tanto, geometrías 3D que simulen productos tipo hamburguesa podrían ser muy adecuadas (ver Figura 4b). Otra geometría interesante para este tipo de subproducto sería el de una pieza de carne (tipo chuleta/filete, como el mostrado en la Figura 4c). Esta geometría, junto con la textura visual adecuada (mediante impresión 2D inkjet) puede simular la forma de un chuletón, pero con los parámetros de textura física adaptados para gente con problemas de disfagia
- **Subproductos de la fabricación de conservas de bonito/atún:** pueden seguir la misma aplicación que los descartes de pollo, pero además aportan el valor añadido de producto no cárnico.



(a)

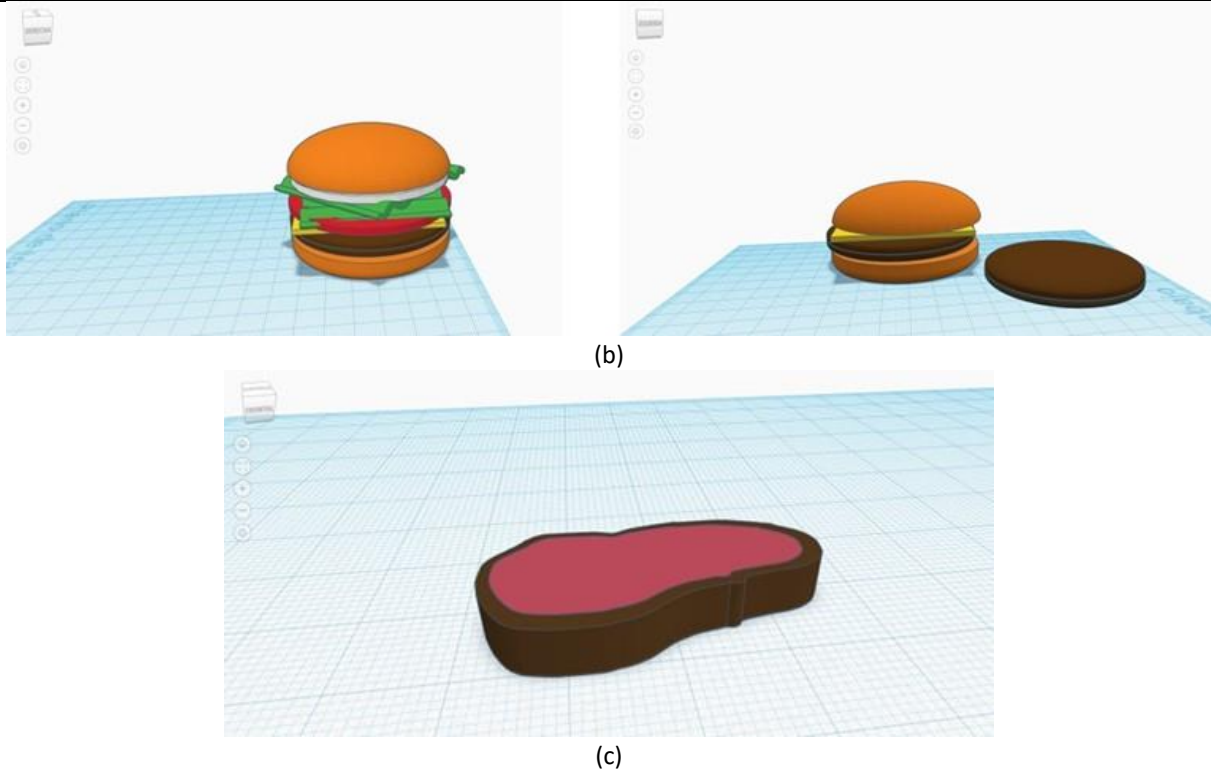


Figura 4. Potenciales geometrías 3D en función del subproducto utilizado. a) Arándano y kiwi de destrío, magaya; b) y c) descartes de pollo y subproductos derivados de la fabricación de conservas de bonito.

H2. FORMULACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MASAS ALIMENTARIAS

El objetivo de este HITO, cuya fecha de finalización es 30/09/2023 (correspondiente con el mes 17 de ejecución), es seleccionar aquellas formulaciones de masas alimentarias obtenidas a través de los subproductos alimentarios (descritos en el HITO anterior) que cumplan los requisitos exigidos para las aplicaciones buscadas. En concreto, esta selección de masas alimentarias óptimas se basará en las siguientes características:

- Capacidad de ser procesadas mediante tecnología de extrusión (propiedades reológicas óptimas;
- Capacidad de mantener la geometría 3D tras el proceso de extrusión, de forma que se puedan generar alimentos visualmente atractivos para el consumidor (textura visual óptima conseguida mediante impresión 2D inkjet);
- Estabilidad microbiológica de la masa tras el proceso de extrusión que garantice parámetros de seguridad alimentaria;
- Textura física óptima para los sectores poblacionales objetivo (principalmente con problemas de disfagia).

T2.1. Formulación y evaluación de la procesabilidad de las masas alimentarias en proceso de extrusión

Esta tarea ha estado activa desde el mes 3 (julio 2022) hasta el mes 17 (sept. 2023), por lo que ya se ha justificado parte del trabajo técnico en la anualidad del 2022. El objetivo principal de esta tarea es la obtención de formulaciones adecuadas para las materias primas (subproductos) seleccionadas, de forma que se obtengan productos (masas alimentarias) que cumpla con las condiciones comentadas anteriormente.

Esta tarea de formulación de masas alimentarias parte de la materia prima (subproducto) ya estabilizada a través de las técnicas comentadas anteriormente (ver tarea T1.2). A partir de este punto, la metodología de trabajo será la misma para todos los subproductos a estudiar: el primer paso es realizar un pretratamiento basado en una trituración (picado intenso), de forma que las materias primas adquieran una textura tipo

“puré”. A partir de aquí, y en base a el análisis de la textura y la caracterización reológica, se determinará el potencial para su procesabilidad mediante impresión 3D por extrusión. En caso de no alcanzar los parámetros óptimos, y en función de la viscosidad, y siguiendo la estrategia *clean-label*, se recurrirá al uso de ingredientes naturales y/o coadyuvantes tecnológicos que proporcionen los parámetros (viscosidad, fluidez, etc.) buscados.

SUBPRODUCTO DE PARTIDA: ARÁNDANO DE DESTRÍO

Como ya se ha mencionado anteriormente, el primer subproducto seleccionado ha sido el **ARÁNDANO DE DESTRÍO**, es decir, arándanos que no cumplen las especificaciones para su comercialización, pero que son perfectamente aptos para el consumo (ver Tabla 1). Con este subproducto como matriz, se han diseñado y evaluado diferentes formulaciones que se detallan a continuación.

- **Desarrollo de masas alimentarias obtenidas a partir de subproductos del ARÁNDANO – FORMULACIONES ARAN-P1**

FORMULACIÓN ARAN-P1.1: base de arándano y almidón de maíz funcional

En la Tabla 7 se recoge la formulación utilizada. La metodología seguida para el desarrollo de esta masa alimentaria fue: 1) atomizar arándano con goma acacia; 2) mezclar arándano con agua y calentar; 3) añadir el almidón en agitación y subir hasta 80°C; y 4) extrusión 3D en caliente a T ≈ 30°C.

Tabla 7. Formulación ARAN-P1.1.

ARAN-P1.1 ARP49/AG34/ALM17				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Arándano en polvo	10	49%	62	49%
Agua	7	34%	43,4	34%
Almidón modificado	3,4	17%	21,08	17%
	20,4	100%	126,48	100%

FORMULACIÓN ARAN-P1.2: base arándano y pectina

En la Tabla 8 se recoge la formulación utilizada. La metodología seguida para el desarrollo de esta masa alimentaria fue: 1) calentar el zumo de arándano con la mitad del azúcar; 2) añadir la otra mitad del azúcar, mezclada con la pectina y el ácido cítrico; 3) añadir la glucosa y calentar hasta 100° C; 4) dejar enfriar hasta textura manipulable; y 5) extrusión 3D en caliente a temperatura necesaria para textura correcta.

Tabla 8. Formulación ARAN-P1.2.

ARAN-P1.2 ARZ41/PEC5				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo de arándano	250	41%	200	41%
Azúcar	275	45%	220	45%
Pectina	30	5%	24	5%
Glucosa	50	8%	40	8%
Ácido cítrico	4	1%	3,2	1%
	609	100%	487,2	100%

FORMULACIÓN ARAN-P1.3: base arándano y pectina

En la Tabla 9 se recoge la formulación utilizada. La metodología seguida para el desarrollo de esta masa alimentaria fue: 1) calentar “bloque 1” (ver columna izquierda de la tabla) hasta que esté todo bien integrado (especial atención a no calentar demasiado); 2) mezclar el “bloque 2” y llevar a ebullición; 3) añadir el “bloque 3”: primero el azúcar removiendo hasta disolver y después la glucosa hasta deshacer removiendo continuamente hasta que la mezcla llegue a los 100° C; 4) agregar el limón ya fuera del fuego (“bloque 4”); 5) enfriar hasta textura adecuada; y 6) extrusión 3D en caliente a temperatura necesaria para textura correcta.

Tabla 9. Formulación ARAN-P1.3.

ARAN-P1.3 ARP30/PEC2					
	Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
1	Puré de arándano	250	30%	150	30%
	Glucosa	80	10%	48	10%
2	Azúcar	20	2%	12	2%
	Pectina	20	2%	12	2%
3	Azúcar	300	36%	180	36%
	Glucosa	160	19%	96	19%
4	Ácido cítrico	4	0%	2,4	0%
		834	100%	500,4	100%

En la Figura 5 se muestra una foto de las tres formulaciones desarrolladas.



Figura 5. Imagen de las tres formulaciones P1.

Caracterización reológica de las formulaciones ARAN-P1

Se caracterizaron las propiedades reológicas de las tres masas desarrolladas (**ARAN-P1.1, ARAN-P1.2 y ARAN-P1.3**). A modo de comparación, se incluyó en la caracterización, como referencia, una cuarta masa alimentaria óptima para el proceso de impresión 3D por extrusión: **MAZAPÁN** (muestra comercial adaptada para su uso en impresión 3D). A continuación, se muestra una imagen del formato en el que se comercializan las muestras de mazapán cuya aplicación es la impresión 3D (.



Figura 6. Imagen de las muestras comerciales de mazapán fabricadas para impresión 3D

La anchura de rendija utilizada fue de 1 mm para las muestras de arándano y pectina (muestras ARAN-P1.1, ARAN-P1.2 y ARAN-P1.3), pero para el mazapán se utilizó una anchura de rendija de 5mm. En el caso del mazapán, en lugar de depositar la muestra en el centro del plato inmóvil del reómetro y esperar a que la sonda esparciera homogéneamente el material al alcanzar la anchura de rendija, el material fue directamente cortado en láminas de 5mm. Después de alcanzar la anchura de rendija apropiada, y antes de empezar cada

ensayo, todas las muestras se dejaron reposar por 300s. La temperatura de los ensayos varió en función de la muestra a analizar:

- Muestra ARAN-P1.1 → 25°C.
- Muestra ARAN-P1.2 → 30°C.
- Muestra ARAN-P1.3 → 35°C.
- Mazapán → 50°C

En una primera inspección visual, se aprecia que la muestra ARAN-P1.1 presentaba una muy alta pegajosidad, resultando difícil colocar la cantidad adecuada en el plato de análisis del reómetro. Además, presentaba una consistencia bastante dura, pudiendo el equipo ejercer la presión necesaria sobre la muestra como para llegar a la anchura de rendija necesaria (1 mm) pero no sin mucho esfuerzo. Aun así, se pudieron llevar a cabo todas las mediciones requeridas. Todos los problemas observados para la muestra ARAN-P1.1 se reprodujeron de manera agravada en la muestra ARAN-P1.3, siendo esta mucho más pegajosa y consistente. En este último caso, la curva de flujo no pudo realizarse ya que la sonda quedaba atascada, siendo incapaz de girar. Sin embargo, el análisis de la muestra ARAN-P1.2 no presentó problema alguno. Sorprendentemente, y debido a la naturaleza sólida del mazapán, no se obtuvieron curvas de flujo interpretables para este material.

Curvas de flujo

Las curvas de flujo de las muestras ARAN-P1.1 y ARAN-P1.2 están representadas en la Figura 7. Como ya se comentó previamente, no fue posible obtener curvas de flujo ni para la muestra ARAN-P1.3 ni para el mazapán. Las curvas obtenidas fueron ajustadas al modelo de Herschel-Bulkley con un $r^2 > 0.98$, presentándose los parámetros de interés calculados a partir de dichos ajustes en la Tabla 10. Bajos valores de n se relacionan con fluidos muy pseudoplásticos que sufrirán un descenso más pronunciado en su viscosidad aparente a medida que son extruidos, facilitando su salida por la boquilla de la jeringa. Por otro lado, valores altos del parámetro K , el coeficiente de consistencia, se relacionan con materiales con una mayor viscosidad y más difíciles de extruir. Finalmente, el esfuerzo de fluencia (τ_0) hace referencia a la fuerza que hay que aplicar para deshacer las interacciones internas que se dan entre los componentes de la tinta y que por tanto la muestra empiece a fluir. De esto se deduce que muestras con valores más altos de τ_0 presentarán una red coloidal más desarrollada, lo cual algunos autores relacionan con la fortaleza de la tinta para mantener su propia forma una vez que es extruida, así como su capacidad de mantener sucesivas capas superiores de material sin que colapsen las capas inferiores. Por tanto, dentro de ciertos límites, valores bajos de n y de K y altos de τ_0 se relacionan con mejores formulaciones para impresión 3D (Liu Z. *et al.* 2018; Maldonado-Rosas R. *et al.* 2022).

Teniendo esto en cuenta y de acuerdo con los resultados expuestos en la Tabla 10, la muestra ARAN-P1.1 resultó tener un valor de K más del doble que aquel medido para la muestra P1.2, y un valor de n similar. Además, la muestra ARAN-P1.1 presentó una mayor viscosidad en la región *Power Law* analizada (Figura 7b). Por otro lado, el valor de τ_0 medido para la muestra ARAN-P1.2 debería de ser lo suficientemente alto como para mantener la estructura de la tinta extruida, siendo más alto o similar al de otras tintas encontradas en la bibliografía (Lee C.P. *et al.* 2020; Liu Z. *et al.* 2018; Martínez-Monzó J. *et al.* 2019; Rando P. *et al.* 2021). Con respecto al valor de τ_0 , cabe resaltar el signo negativo encontrado en la muestra ARAN-P1.1, lo cual no tiene significado reológico y sugiere que la curva de flujo obtenida para esta muestra en particular puede ser no confiable. Este hecho se puede haber dado debido a la alta viscosidad de la muestra, siendo difícil hacerla fluir con un ensayo rotacional, lo cual generaría deslizamientos y distorsiones en la medición. En cualquier caso, el valor de τ_0 puede ser medido de manera más certera analizando los barridos de esfuerzo que se presentan a continuación.

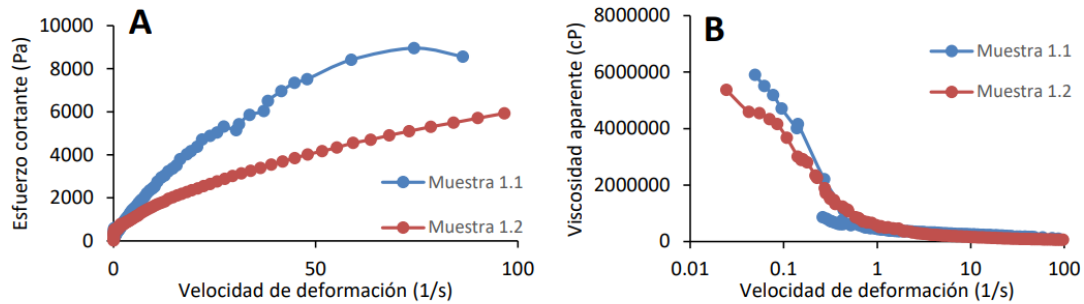


Figura 7. Curvas de flujo de las muestras ARAN-P1.1 y ARAN-P1.2. A) Esfuerzo cortante vs velocidad de deformación. B) Viscosidad vs Velocidad de deformación

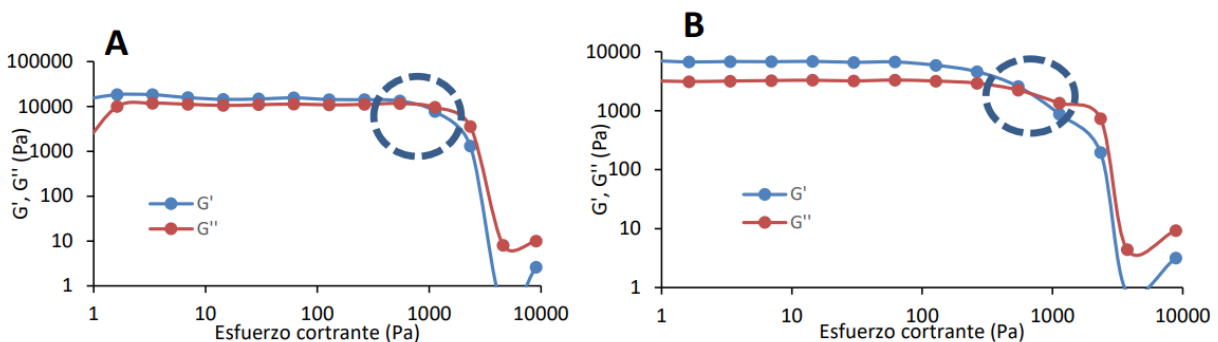
Tabla 10. Parámetros de interés calculados a partir de la Figura 7. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia.

	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n
Muestra 1.1	-141.5	727.3	0.58
Muestra 1.2	263.6	316.9	0.63

Barridos de esfuerzo de las muestras de pectina y arándanos

Los barridos de esfuerzo de las muestras ARAN-P1.1, ARAN-P1.2 y ARAN-P1.3 se presentan en la Figura 8. De acuerdo con los resultados obtenidos, la muestra ARAN-P1.1 mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 540Pa, mientras que la RVL de la muestra P1.3 superó los 2000Pa y la de la muestra ARAN-P1.2 llegó hasta los aproximadamente 100Pa. La determinación de la RVL es importante a la hora de definir las condiciones de ensayo del barrido de frecuencias que se presenta en secciones posteriores.

Además, cabe señalar que el parámetro τ_0 puede calcularse no solo ajustando la curva de flujo al modelo de Herschel-Bulkley, tal y como se señaló anteriormente, sino también definiendo el esfuerzo cortante al cual se cruzan los módulos G' y G'' en el barrido de esfuerzo (Liu Z. *et al.* 2018; Maldonado-Rosas R. *et al.* 2022), lo cual es especialmente aconsejable en el caso de muestras muy viscosas que no acaban de fluir adecuadamente durante el desarrollo de la curva de flujo. De este modo, atendiendo al punto en el cual la G'' se iguala a la G' en cada caso, y que se ha marcado en la Figura 8 en cada barrido de esfuerzos con un círculo de línea discontinua, se puede concluir que la τ_0 para la muestra ARAN-P1.1 es de, aproximadamente, 770Pa, para la muestra ARAN-P1.2 de 690Pa y para la muestra ARAN-P1.3 de 7400Pa. Teniendo en cuenta que, tal y como se definió anteriormente, la τ_0 hace referencia a la cantidad de fuerza que hay que aplicar para hacer fluir un determinado material, y atendiendo a otros valores encontrados en la bibliografía, la τ_0 para la muestra ARAN-P1.2 y ARAN-P1.1 es muy alta, mientras que para la muestra ARAN-P1.3 el valor obtenido es extremadamente alto, pudiéndose predecir que dichas tintas difícilmente van a fluir bajo la acción del émbolo en la impresora 3D.



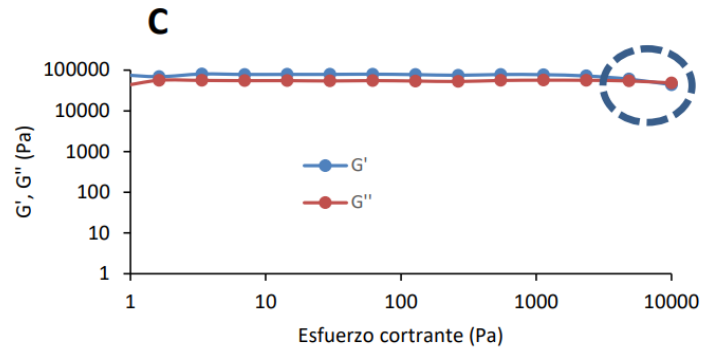


Figura 8. Barridos de esfuerzo de las tintas preparadas con arándanos y pectina. A) Muestra ARAN-P1.1. B) Muestra ARAN-P1.2. C) Muestra ARAN-P1.3. El círculo con línea discontinua señala en cada caso el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para cada una de las muestras analizadas.

Finalmente, señalar que la G' y el τ_0 pueden usarse para predecir la fuerza mecánica de las tintas. Por tanto, cuanto más altos sean estos valores mayor capacidad tendrá la mezcla de mantener su forma una vez extruida y mejor será la resolución de la impresión (Liu Z. *et al.* 2019). Sin embargo, tal y como se señala en el párrafo anterior con respecto a la τ_0 , estos valores para las tintas evaluadas puede que sean demasiado altos, no pudiéndose siquiera llevar a cabo la impresión.

Barrido de esfuerzos del mazapán comercial

La RVL para el mazapán se extendió hasta que en el barrido se ejerció un esfuerzo cortante de aproximadamente 100Pa, y la τ_0 alcanzó los 2300Pa. Este valor de esfuerzo de fluencia también se puede considerar muy alto como para hacer fluir este material con la acción de un émbolo en una impresora 3D de alimentos convencional. En la Figura 9 se muestra el barrido de esfuerzo de la tinta preparada con mazapán, en donde el círculo con línea discontinua señala, en cada caso, el punto en el cual la G' y la G'' se igualan. Dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

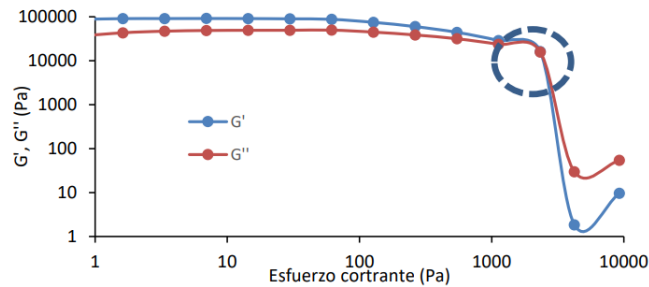


Figura 9. Barrido de esfuerzo de la tinta preparada con mazapán

Barrido de frecuencias de las muestras de arándanos y pectina

De acuerdo con los resultados obtenidos (ver gráficas de la Figura 10), todas las tintas mostraron un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G''), lo cual sugiere que estas tintas presentan una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. Además, la muestra ARAN-P1.3 mostró valores de G' y G'' más altos que el resto, sugiriendo este hecho que esta preparación presenta una estructura de red interna más densa, siendo la muestra ARAN-P1.2 la que menores valores de G' y G'' exhibía. Como se comentó anteriormente, valores más altos de G' se relacionan con muestras con más resistencia mecánica y, por tanto, menos deformables una vez son extruidas. También se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia ensayada el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel.

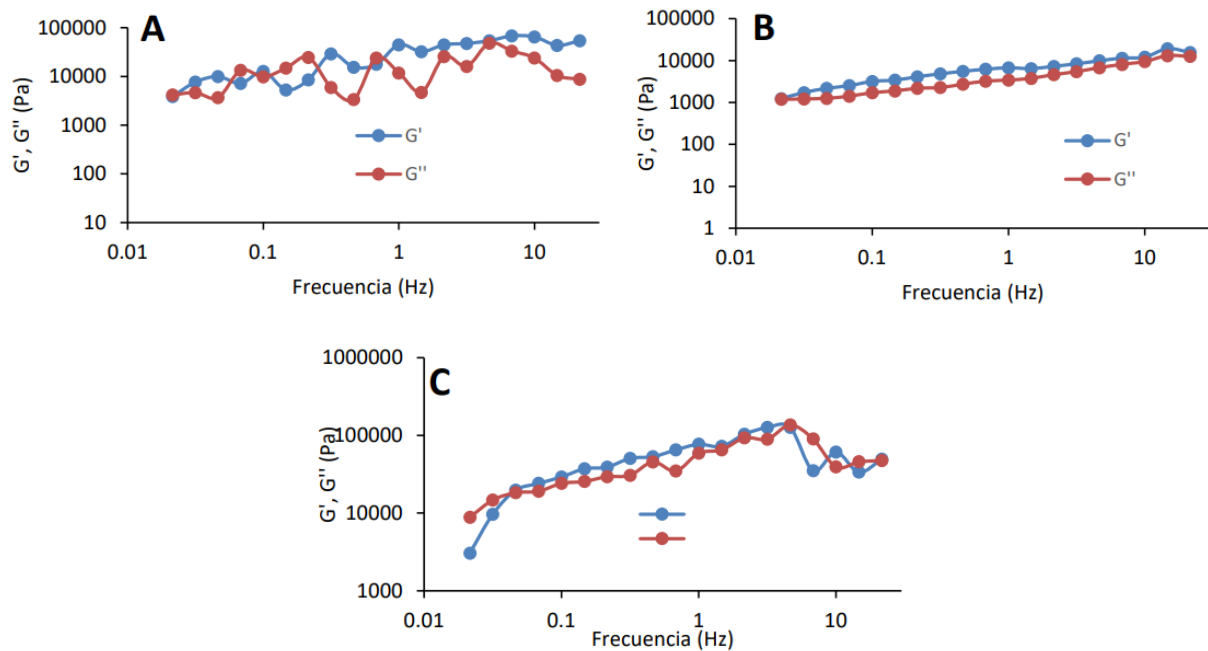


Figura 10. Barrido de frecuencias de las tintas preparadas con arándanos y pectina. A) Muestra ARAN-P1.1. B) Muestra ARAN-P1.2. C) Muestra ARAN-P1.3.

Barrido de frecuencias del mazapán comercial

Al igual que en el caso de las muestras de arándanos y pectina, el valor de G' del mazapán resultó más alto que el valor de G'' (ver Figura 11), por lo que estamos ante un producto con una estructura sólida o tipo gel. El valor de los dos módulos puede considerarse también como muy elevado, equiparable a la muestra ARAN-P1.3. Además, se observa una dependencia entre los dos módulos y la frecuencia, lo cual, como ya se enunció anteriormente, es característico de materiales con una estructura interna tipo gel. Se aprecia cierto *crossover* entre G'' y G' a frecuencias más altas, volviéndose el material un líquido viscoelástico ($G'' > G'$), lo cual podría ser debido a un desenmarañamiento de los polímeros que forman la estructura interna del material (Kim H. *et al.* 2018), aunque esto habría que verificarlo aumentando el rango de frecuencias utilizado, y esto es difícil relacionarlo con ninguna característica de impresión 3D del material utilizado.

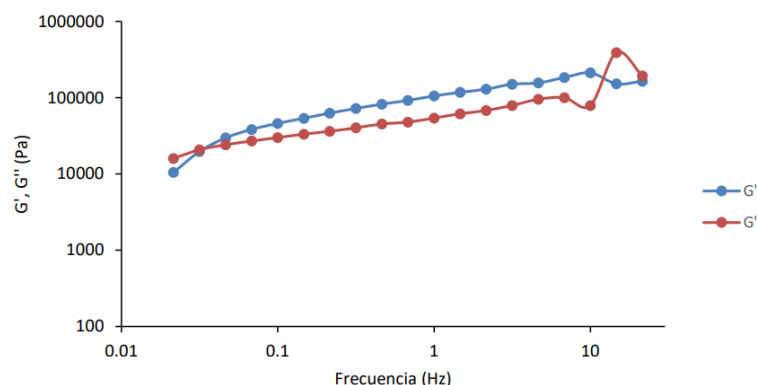


Figura 11. Barrido de frecuencias del mazapán.

CONCLUSIONES para las masas alimentarias obtenidas a partir de subproductos del ARÁDANO – FORMULACIONES P1

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir con que los parámetros reológicos analizados indican que todas las muestras son pseudoplásticas, lo cual es muy positivo en cuanto al diseño de tintas para impresión 3D se refiere. Sin embargo, todas las muestras mostraron una fuerza mecánica demasiado elevada,

observándose valores muy altos para los parámetros τ_0 y G' , los cuales fueron particularmente elevados para las muestras ARAN-P1.3 y la del mazapán. Además, las muestras presentaron una muy alta viscosidad, tanto que las curvas de flujo de las muestras ARAN-P1.3 y la del mazapán no pudieron ser desarrolladas, mientras que las muestras ARAN-P1.1 y ARAN-P1.2, cuyas curvas de flujo sí pudieron ser analizadas, mostraron altos valores de viscosidad. A este respecto, el parámetro K también resultó bastante elevado para la muestra ARAN-P1.3 teniendo en cuenta la bibliografía consultada, siendo más contenido para la muestra ARAN-P1.2. Teniendo todo esto en cuenta, **la mejor tinta para ser utilizada en impresión 3D atendiendo a los parámetros reológicos medidos es la P1.2.**

Con el objetivo de hacer una evaluación preliminar de la masa alimentaria ARAN-P1.2 en términos de procesabilidad, se sometió al proceso de impresión 3D mediante extrusión. Para ello, se diseñó un protocolo de actuación dirigido a establecer las pautas para la carga de producto en la cápsula del equipo que almacena la masa alimentaria que se va a extruir. En la Figura 12 se muestra una imagen de la disposición de la cápsula en el equipo (Figura 12a) y una imagen de la propia cápsula fuera del equipo (Figura 12b). Las pautas de trabajo definidas en el protocolo de actuación se resumen a continuación:

- Aumento de la temperatura de la masa (mediante Baño maría) para aumentar su capacidad de fluir, facilitando con ello su manipulación (ver Figura 12c)
- Con la ayuda de una cuchara pequeña, se rellena una jeringuilla (ver Figura 12d)
- La jeringuilla cargada con la masa se introduce en la cápsula y se vacía el contenido lentamente



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12. a) Imagen de la disposición de la cápsula en el equipo de impresión 3D; b) Imagen de la cápsula donde se almacena la masa alimentaria para su extrusión; c) proceso térmico para facilitar la manipulación de la masa alimentaria; d) jeringuilla utilizada para cargar la cápsula con la masa alimentaria.

Como geometría 3D básica para la evaluación de la procesabilidad se seleccionó una pirámide, tal y como se indicó previamente en la Figura 3. Se utilizaron los parámetros de proceso considerados como óptimos para el mazapán comercial (la optimización de los parámetros de proceso de impresión 3D por extrusión se llevará a cabo en la tarea T4.2). En la Figura 13 se muestra una imagen del proceso de impresión 3D y del resultado final. Tal y como se observa claramente, la masa alimentaria ARAN-P1.2 no consigue mantener la geometría 3D buscada.

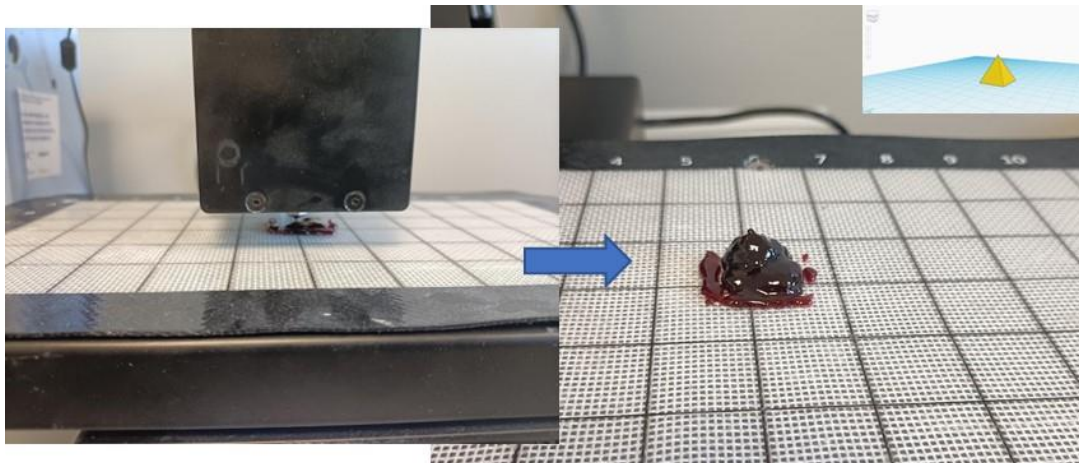


Figura 13. Impresión 3D de una pirámide utilizando la masa alimentaria ARAN-P1.2

- **Desarrollo de masas alimentarias obtenidas a partir de subproductos del ARÁDANO – FORMULACIONES ARAN-P2**

En base a los resultados obtenidos en las formulaciones de ARAN-P1, se desarrolló un nuevo set de formulaciones codificadas como ARAN-P2. La metodología seguida para el desarrollo de todas las masas ARAN-P2 fue: 1a) atomizar arándano con goma acacia; 1b) prensado del arándano y filtrado del zumo en tamiz de 100 micras; 2) mezclar arándano con agua y calentar; 3) añadir el almidón en agitación y subir hasta 80°C; y 4) extrusión 3D en caliente a $T \approx 30^{\circ}\text{C}$.

FORMULACIÓN ARAN-P2.1: base de arándano en polvo + pectina y almidón modificado

En la Tabla 11 se recoge la formulación utilizada.

Tabla 11. Formulación ARAN-P2.1

ARAN-P2.1 ARP49/AG32/PEC3/ALM16				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Arándano polvo	10	49%	200	49%
Agua	6,5	32%	130	32%
Pectina	0,7	3%	14	3%
Almidón modificado	3,3	16%	66	16%
	20,5	100%	410	100%

FORMULACIÓN ARAN-P2.2: base de zumo de arándano + pectina y almidón pregelatinizado

En la Tabla 12 se recoge la formulación utilizada.

Tabla 12. Formulación ARAN-P2.2

ARAN-P2.2 ARZ79/PEC6/ALM16				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo arándano	10	79%	200	79%

Pectina	0,7	6%	14	6%
Almidón pregelatinizado	2	16%	40	16%
	12,7	100%	254	100%

FORMULACIÓN ARAN-P2.3: base de zumo de arándano + almidón pregelatinizado

En la Tabla 13 se recoge la formulación utilizada.

Tabla 13. Formulación ARAN-P2.3

ARAN-P2.3 ARZ83/ALM17				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo arándano	10	83%	200	83%
Almidón pregelatinizado	2	17%	40	17%
	12	100%	240	100%

FORMULACIÓN ARAN-P2.4: base de zumo de arándano + agar

En la Tabla 14 se recoge la formulación utilizada.

Tabla 14. Formulación ARAN-P2.4

ARAN-P2.4 ARZ58/AGA1				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo arándano	58,3	58%	300,0	58%
Agua	18,7	19%	96,2	19%
Azúcar	17	17%	87,5	17%
Proteína	5	5%	25,7	5%
Agar	0,9	1%	4,6	1%
Aroma natural	0,1	0%	0,5	0%
	100	100%	515	100%

Caracterización reológica de las masas desarrolladas

En base a la experiencia previa adquirida con el anterior set de formulaciones (Formulaciones ARAN-P1), la formulación seleccionada como más prometedora para la aplicación buscada fue la **ARAN-P2.2 - Base de zumo de arándano + pectina y almidón pregelatinizado**. Por lo tanto, se llevó a cabo la caracterización reológica sobre esta masa alimentaria, seleccionando una temperatura de ensayo reológico de 50°C y una anchura de rendija de 1mm (después de alcanzar la anchura de rendija apropiada, y antes de empezar cada ensayo, todas las muestras se dejaron reposar durante por 300s).

Las curvas de flujo de la muestra ARAN-P2.2 se representa en la Figura 14, ajustándose al modelo de Herschel-Bulkley con un $r^2 > 0.98$. Los valores de los parámetros de interés que resultan de dicho ajuste se presentan en la Tabla 15. Según lo presentado en esta Tabla, la τ_0 presentó un valor negativo mientras que n resultó ser prácticamente cero, lo cual no tiene significado experimental. Estos resultados sugieren que la muestra se comportó como un sólido, no fluyendo adecuadamente bajo la acción mecánica de la sonda, resbalando esta última sobre la muestra.

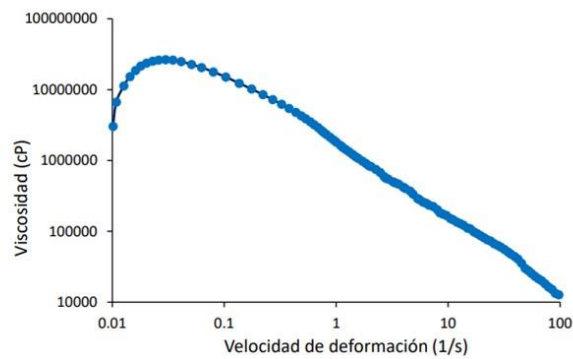


Figura 14. Curvas de flujo de la muestra ARAN-P2.2. Viscosidad vs Velocidad de deformación

Tabla 15. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia.

	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n
Muestra P03	-3.24×10^7	3.5×10^7	0.02

El barrido de esfuerzo de la muestra ARAN-P2.2 se presenta en la Figura 15. De acuerdo con los resultados obtenidos, la muestra mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta al menos los 1130Pa. Atendiendo al punto en el cual la G'' se iguala a la G' en cada caso, y que se ha marcado en la Figura 15 en cada barrido de esfuerzos con un círculo de línea discontinua, se puede concluir que la τ_0 para la muestra ARAN-P2.2 es de aproximadamente 4800Pa.

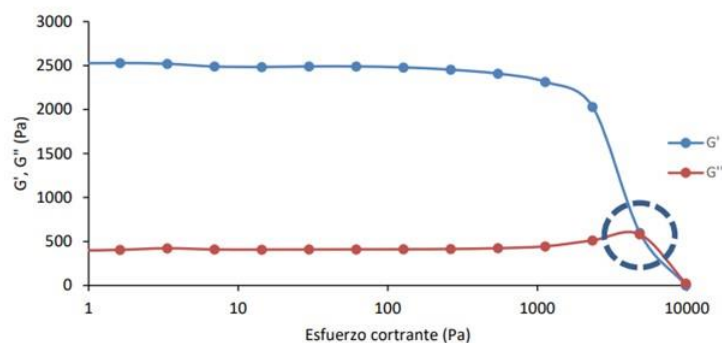


Figura 15. Barrido de esfuerzo de la tinta ARAN-P2.2. El círculo con línea discontinua señala el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

En relación con el barrido de frecuencias, todas las tintas mostraron un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G'') (ver Figura 16), lo cual sugiere que esta tinta presenta una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. También se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia ensayada el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel.

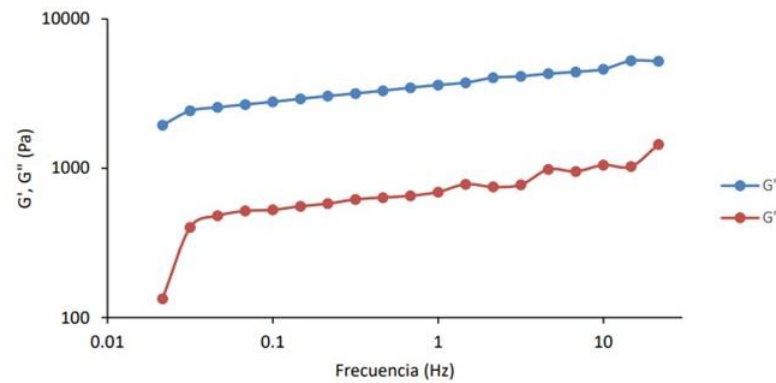


Figura 16. Barrido de frecuencia de la muestra ARAN-P2.2.

CONCLUSIONES para las masas alimentarias obtenidas a partir de subproductos del ARÁDANO – FORMULACIONES ARAN-P2

De acuerdo con la inspección visual de las masas desarrolladas (en términos de viscosidad, aspecto gomoso, etc.), la formulación ARAN-P2.2. fue seleccionada como la más prometedora. Los parámetros reológicos analizados indican que la muestra es pseudoplástica, pero presenta una fuerza mecánica muy elevada. De esta manera, se apreciaron valores muy altos para los parámetros τ_0 y G' . Además, la muestra presentó una muy alta viscosidad, no fluyendo adecuadamente bajo la acción de la sonda, dando como resultado una curva de flujo de difícil interpretación.

Con el objetivo de hacer una evaluación preliminar de la procesabilidad de la masa alimentaria ARAN-P2.2, se sometió al proceso de impresión 3D mediante extrusión. Para ello, y en base a la experiencia previa adquirida con el set de formulaciones anterior (P1), se diseñó un nuevo protocolo de actuación más eficaz para cargar la masa alimentaria en la cápsula del equipo (ver imagen de la cápsula en Figura 12). En este caso, y reproduciendo el formato en el que se comercializa el mazapán para impresión 3D (ver Figura 6), se embutió la masa en un film con el objetivo de facilitar la extrusión, al evitar que la masa alimentaria se pegue a las paredes de la cápsula, facilitando con ello el movimiento del émbolo de presión durante la extrusión.

Al igual que en el caso anterior, como geometría 3D básica para la evaluación de la procesabilidad se seleccionó una pirámide, tal y como se indicó previamente en la Figura 3. Al igual que con la formulación anterior, se utilizaron los parámetros de proceso considerados como óptimos para el mazapán comercial. En la Figura 17 se muestra una imagen del proceso de impresión 3D y del resultado final. Tal y como se observa claramente, con la masa alimentaria ARAN-P2.2 se obtienen resultados mucho mejores que la ARAN-P1.2 al conseguir extruir sin problemas y mantener la geometría 3D buscada.

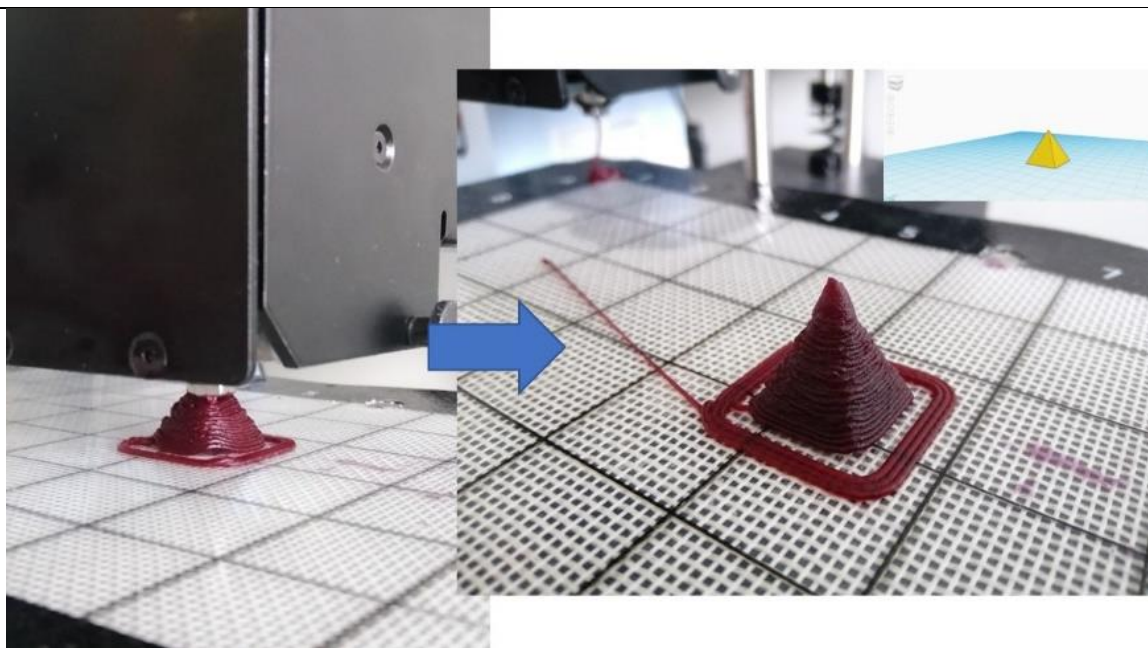


Figura 17. Impresión 3D de una pirámide utilizando la masa alimentaria ARAN-P2.2

SUBPRODUCTO DE PARTIDA: Subproductos generados en la industria conservera (ATÚN)

Como segundo subproducto, se seleccionó una matriz de pescado y, más concretamente, el generado en la industria conservera del atún (actualmente los descartes se desechan en su mayoría como residuo SANDACH Categoría 3). Se trata de un tipo de subproducto que se genera en gran volumen, no sólo a nivel asturiano sino también nacional, con un alto valor debido a su elevado contenido en proteínas (ver Tabla 1). Con este subproducto como matriz, se han diseñado y evaluado diferentes formulaciones que se detallan a continuación.

- **Desarrollo de masas alimentarias obtenidas a partir de generados en la industria conservera (ATÚN) – FORMULACIONES ATÚN-P01**

En las siguientes tablas (Tabla 16 y Tabla 17) se recogen las formulaciones de las masas alimentarias desarrolladas y ensayadas (ATÚN-P01.1 y ATÚN-P01.2, respectivamente). La diferencia entre ambas formulaciones es el tipo de almidón utilizado (“Eskugel” y “C*Set05063”), ya que tienes características reológicas diferentes.

La metodología seguida para el desarrollo de ambas formulaciones ha sido la misma: 1) triturar el atún; 2) mezclar la sal con la pectina; 3) mezclar atún con mezcla de sal y pectina + almidón + fibra acacia; 3) disolver CD en agua y emulsionar añadiendo aceite de oliva virgen extra (AOVE); 4) mezcla la emulsión de AOVE con el resto de la masa; y 5) extrusión 3D en caliente a $T \approx 50^{\circ}\text{C}$.

Tabla 16. Formulación ATÚN-P01.1.

P01.1 ATÚN 3DTEXT			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Atún	85,00%	336	85,00%
Agua	15,00%	59,29	15,00%
SUBTOTAL	100,00%	395,29	100,00%
AOVE	39,54%	156,30	39,54%
Eskugel	8,00%	31,62	8,00%
Pectina	3,00%	11,86	3,00%
Fibra Acacia	1,50%	5,93	1,50%

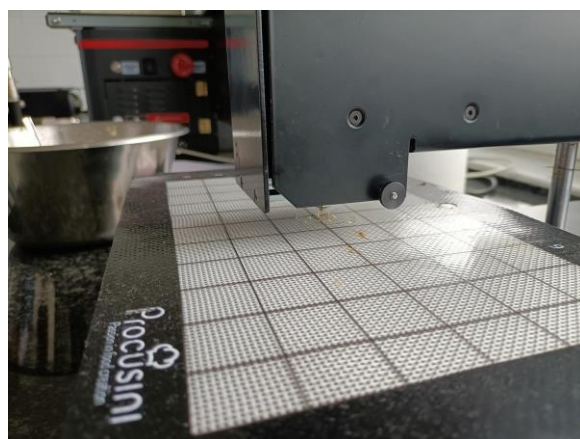
CD	2,01%	7,95	2,01%
Sal	1,50%	5,93	1,50%

Tabla 17. Formulación ATÚN-P01.2.

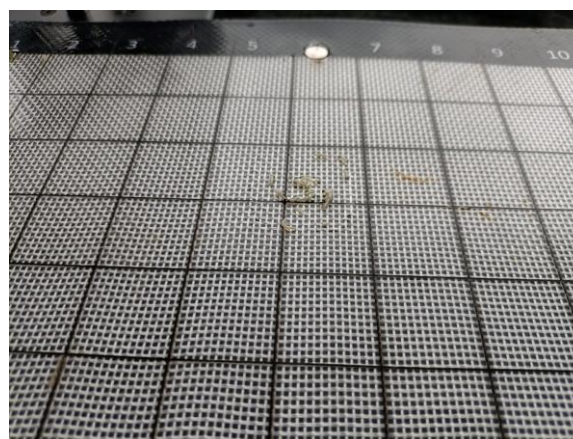
P01.2 ATÚN 3DTEXT			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Atún	85,00%	336	85,00%
Agua	15,00%	59,29	15,00%
SUBTOTAL	100,00%	395,29	100,00%
AOVE	39,54%	156,30	39,54%
C*Set 05063	8,00%	31,62	8,00%
Pectina	3,00%	11,86	3,00%
Fibra Acacia	1,50%	5,93	1,50%
CD	2,01%	7,95	2,01%
Sal	1,50%	5,93	1,50%

Tras una primera inspección visual de ambas masas, se observa un contenido en aceite elevado que podría dar problemas en el procesado posterior. Por lo tanto, se decide hacer una evaluación preliminar de las masas anteriores en términos de procesabilidad, sometiéndolas al proceso de impresión 3D mediante extrusión (modelo 3D: pirámide). Para ello se siguió el protocolo de actuación definido anteriormente (ver Figura 12) y se utilizaron los parámetros de proceso considerados como óptimos para el mazapán comercial (la optimización de los parámetros de proceso de impresión 3D por extrusión se llevará a cabo en la tarea T4.2).

En la Figura 18 se muestra una imagen del proceso de impresión 3D utilizando ambas masas: ATÚN-P01.1 (Figura 18a) y ATÚN-P01.2 (Figura 18b). Tal y como se esperaba, con ninguna de las dos masas alimentarias se consigue una buena extrusión debido a la presencia de aceite, lo que dificulta la extrusión y la adherencia de la masa extruida en la superficie, impidiendo con ello la formación de la estructura 3D. Debido a estos problemas de procesabilidad, se decide no llevar a cabo la caracterización reológica de esta formulación.



(a)



(b)

Figura 18. Impresión 3D con las masas desarrolladas a partir de subproductos de la industria conservera (atún): a) masa ATÚN-P01.1; b) masa ATÚN-P01.2.

- **Desarrollo de masas alimentarias obtenidas a partir de generados en la industria conservera (ATÚN) – FORMULACIONES ATÚN-P02**

Para mejorar la procesabilidad de las masas, se desarrollaron dos nuevas formulaciones muy similares a las anteriores, pero eliminando el contenido de aceite. En las siguientes tablas (Tabla 27 y Tabla 28) se recogen las formulaciones de las masas alimentarias desarrolladas y ensayadas (P02.1 y P02.2, respectivamente). La

diferencia entre ambas formulaciones es el tipo de almidón utilizado (“Eskugel” y “C*Set05063”), ya que tiene características reológicas diferentes.

Tabla 18. Formulación ATÚN-P02.1

P02.1 ATÚN 3DTEXT			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Atún	80,00%	580	80,00%
Agua	20,00%	145,00	20,00%
SUBTOTAL	100,00%	725,00	100,00%
AOVE	0,00%	0,00	0,00%
Eskugel	8,00%	58,00	8,00%
Pectina	3,00%	21,75	3,00%
Fibra Acacia	1,50%	10,88	1,50%
CD	0,00%	0,00	0,00%
Sal	1,50%	10,88	1,50%

Tabla 19. Formulación ATÚN-P02.2

P02.2 ATÚN 3DTEXT			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Atún	85,00%	580	85,00%
Agua	15,00%	102,35	15,00%
SUBTOTAL	100,00%	682,35	100,00%
AOVE	0,00%	0,00	0,00%
C*Set 05063	8,00%	54,59	8,00%
Pectina	3,00%	20,47	3,00%
Fibra Acacia	1,50%	10,24	1,50%
CD	2,01%	13,72	2,01%
Sal	1,50%	10,24	1,50%

Dado que las dos masas presentaron características muy similares (apariencia y tacto un tanto gomoso), lo que las convierte en buenos candidatos para su procesamiento por extrusión, se decidió seleccionar la masa ATÚN-P02.1 debido a la mayor disponibilidad del almidón “Eskugel” frente al “C*Set 05063”.

Caracterización reológica de las masas desarrolladas

Se llevó a cabo la caracterización reológica de la masa ATÚN-P02.1, seleccionando una temperatura de ensayo reológico de 50°C y una anchura de rendija de 1mm (después de alcanzar la anchura de rendija apropiada, y antes de empezar cada ensayo, todas las muestras se dejaron reposar durante por 300s).

En la Figura 19 se muestra la curva de flujo obtenida. Dicha curva se ajustó al modelo de *Herschel-Bulkley* con un $r^2 > 0.98$. Los valores de los parámetros de interés que resultan de dicho ajuste se presentan en la Tabla 20. Según lo presentado en esta tabla, la τ_0 presentó un valor negativo mientras que n resultó ser prácticamente cero, lo cual no tiene significado experimental. Estos resultados sugieren que la muestra se comportó como un sólido, no fluyendo adecuadamente bajo la acción mecánica de la sonda, resbalando esta última sobre la muestra. Este comportamiento es muy similar al presentado por las masas basadas en arándano de destrío.

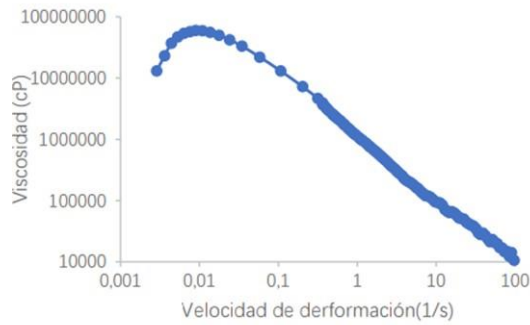


Figura 19. Curvas de flujo de la muestra basada en subproductos de atún (formulación ATÚN-P02.1). Viscosidad vs Velocidad de deformación

Tabla 20. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia.

	τ_0 (Pa)	K (Pa. s ⁿ)	n
AT Day 0	-2.55E+04	2.65E+04	0.001559

El barrido de esfuerzo de la muestra ATÚN-P02.1 se presenta en la Figura 20. De acuerdo con el resultado obtenido, la muestra mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta 2300Pa. Atendiendo al punto en el cual la G'' se iguala a la G' , y que se ha marcado en cada barrido de esfuerzos con un círculo de línea discontinua, se puede concluir que la τ_0 para la muestra ATÚN-P02.1 es de aproximadamente 6000Pa.

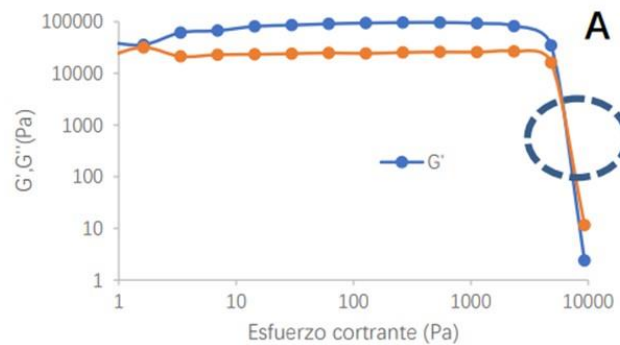


Figura 20. Barrido de esfuerzo de la masa ATÚN-P02.1. El círculo con línea discontinua señala el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

En relación con el barrido de frecuencias, la masa ATÚN-P02.1 mostró un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G'') (ver Figura 21), lo cual sugiere que esta tinta presenta una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. También se puede observar que a medida que aumenta

la frecuencia ensayada el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel.

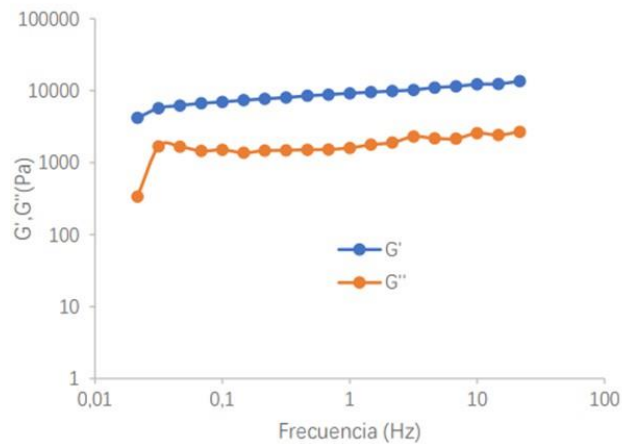


Figura 21. Barrido de frecuencia de la muestra ATÚN-P02.1.

CONCLUSIONES para las masas alimentarias obtenidas a partir de subproductos del ATÚN – FORMULACIÓN ATÚN-P02.1.

De acuerdo con la inspección visual de la masa desarrollada (en términos de viscosidad, aspecto gomoso, etc.), la formulación ATÚN-P02.1 fue seleccionada como la más prometedora. Los parámetros reológicos analizados indican que la muestra es pseudoplástica, aunque presenta una fuerza mecánica muy elevada. De esta manera, se apreciaron valores muy altos para los parámetros τ_0 y G' . Además, la muestra presentó una muy alta viscosidad, no fluyendo adecuadamente bajo la acción de la sonda, dando como resultado una curva de flujo de difícil interpretación. En base a estos resultados, y al igual que ocurrió con la masa basada en arándano de destrío, la masa analizada se puede extruir con el equipamiento del que se dispone ya que debería presentar una consistencia y resistencia mecánica más que suficiente como para cumplir el propósito para la que fue diseñada.

Se evaluó la procesabilidad de las masas someténdolas al proceso de impresión 3D mediante extrusión, siguiendo el protocolo de actuación definido anteriormente (ver Figura 12). Al igual que en el caso anterior, la geometría 3D seleccionada para la evaluación de la procesabilidad fue una pirámide, para el que se utilizaron los parámetros de proceso considerados como óptimos para el mazapán comercial (la optimización de los parámetros de proceso de impresión 3D por extrusión se llevará a cabo en la tarea T4.2).

En la Figura 22a se muestra una imagen del prometedor resultado obtenido tras el proceso de impresión 3D utilizando la masa ATÚN-P02.1 (similar resultado se obtuvo con la ATÚN-P02.2). Además, ante la buena procesabilidad observada, se imprimió también una sección de un diseño 3D mucho más complicado, como es el caso de un búho, tal y como se puede ver en la Figura 22b. Además, en este último diseño se puede observar perfectamente el tipo de relleno interno (mallado).

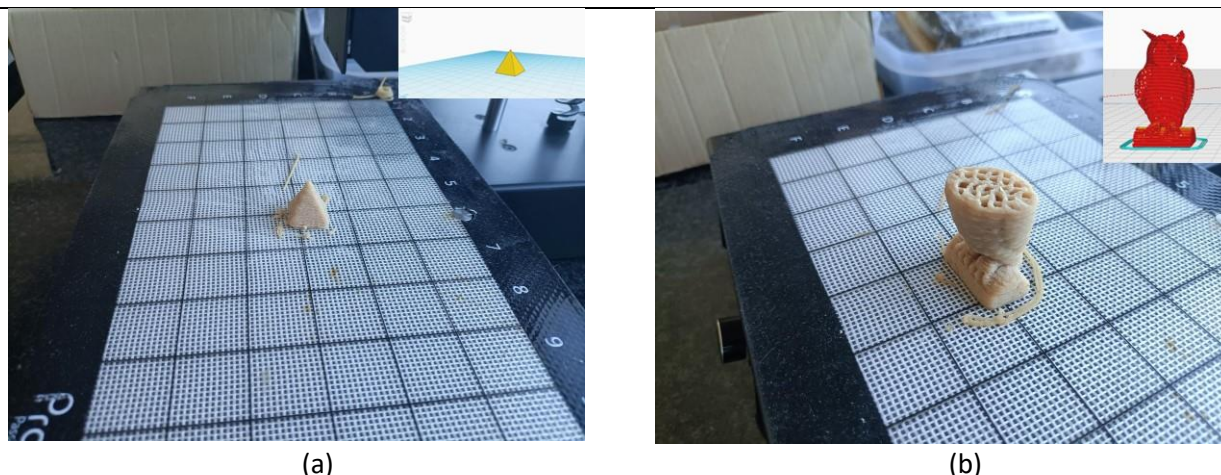


Figura 22. Impresión con la masa ATÚN-P02.1 (similares resultados fueron obtenidos con la masa ATÚN-P02.2): a) pirámide 3D; b) sección del búho.

SUBPRODUCTO DE PARTIDA: Subproducto cárnico generado en la industria de transformación del POLLO

Como tercer subproducto, se seleccionó una matriz cárnica y, más concretamente, descartes de pollo generados en la industria de transformación (actualmente los descartes se desechan en su mayoría como residuo SANDACH Categoría 3). Se trata de un tipo de subproducto que se genera a nivel nacional en gran volumen y con un alto contenido en proteínas (ver Tabla 1). Con este subproducto como matriz, se han diseñado y evaluado diferentes formulaciones que se detallan a continuación.

- **Desarrollo de masas alimentarias obtenidas a partir de descartes de pollo – FORMULACIÓN POLLO-P01**

En las siguientes tablas (Tabla 21 y Tabla 22) se recogen las formulaciones de las masas alimentarias desarrolladas y ensayadas (POLLO-P01.1 y POLLO-P01.2, respectivamente). La diferencia entre ambas formulaciones consiste en el tipo de almidón empleado y la diferente relación entre el contenido de almidón y el de pectina.

La metodología seguida para el desarrollo de ambas formulaciones ha sido la misma: 1) cocer y triturar el pollo; 2) mezclar la sal con la pectina; 3) mezclar pollo con mezcla de sal y pectina + almidón + fibra acacia; 4) disolver CD en agua y emulsionar añadiendo AOVE; 5) mezclar la emulsión de AOVE con el resto de la masa; y 6) extrusión 3D en caliente a $T \approx 50^{\circ}\text{C}$.

Tabla 21. Formulación POLLO-P01.1.

POLLO-P01.1. 3DTEXT			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Pollo	80,00%	1000	80,00%
Agua	20,00%	250,00	20,00%
SUBTOTAL	100,00%	1250,00	100,00%
AOVE	0,00%	0,00	0,00%
Eskugel	7,55%	94,38	7,55%
Pectina	2,80%	35,00	2,80%
Fibra Acacia	1,85%	23,13	1,85%
CD	0,00%	0,00	0,00%
Sal	1,40%	17,50	1,40%

Tabla 22. Formulación POLLO-P01.2.

POLLO-P01.2. 3DTEXT			
---------------------	--	--	--

INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Pollo	80,00%	1000	80,00%
Agua	20,00%	250,00	20,00%
SUBTOTAL	100,00%	1250,00	100,00%
AOVE	0,00%	0,00	0,00%
C*Set 05063	8,55%	106,88	8,55%
Pectina	1,80%	22,50	1,80%
Fibra Acacia	1,85%	23,13	1,85%
CD	0,00%	0,00	0,00%
Sal	1,40%	17,50	1,40

Las dos masas presentaron una apariencia muy similar (homogénea y gomosa), aunque la P01.1 resultaba más elástica, por lo que se seleccionó la POLLO-01.1 para la caracterización reológica.

Caracterización reológica de las masas desarrolladas

Se llevó a cabo la caracterización reológica de la masa POLLO-P01.1, seleccionando una temperatura de ensayo reológico de 50°C y una anchura de rendija de 1mm (después de alcanzar la anchura de rendija apropiada, y antes de empezar cada ensayo, todas las muestras se dejaron reposar durante por 300s).

En la Figura 23 se muestra la curva de flujo obtenida. Dicha curva se ajustó al modelo de *Herschel-Bulkley* con un $r^2 > 0.95$. En la misma línea de las masas analizadas previamente, los valores de los parámetros de interés que resultaron de dicho ajuste resultaron anómalos debido a que mostraron valores negativos para τ_0 y cercanos a cero para n , por lo que no se muestran en ninguna tabla. Estos resultados sugieren que la muestra se comportó como un sólido, no fluyendo adecuadamente bajo la acción mecánica de la sonda, resbalando esta última sobre la muestra.

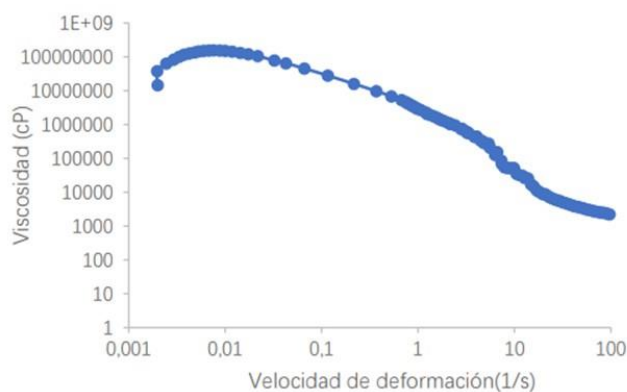


Figura 23. Curvas de flujo de la muestra basada en subproductos de pollo (formulación POLLO-P01.1).
Viscosidad vs Velocidad de deformación

En relación al barrido de esfuerzos de la muestra POLLO-P01.1, y de acuerdo con los resultados obtenidos (ver Figura 24), la masa mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 2300 Pa. Atendiendo al punto en el cual la G'' se iguala a la G' , que se ha marcado con un círculo de línea discontinua, se puede concluir que la τ_0 es de, aproximadamente, 6000Pa.

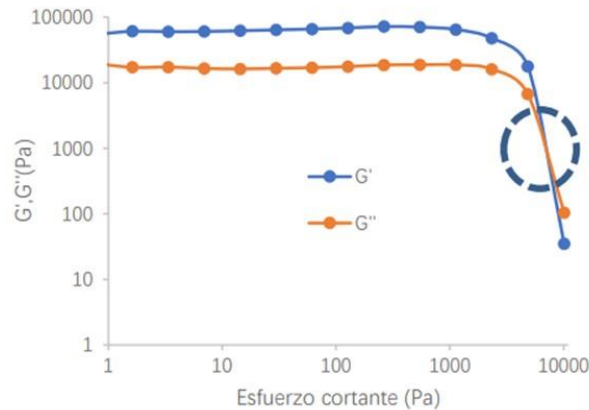


Figura 24. Barrido de esfuerzo de la masa POLLO-P01.1. El círculo con línea discontinua señala el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

El barrido de frecuencias de la masa POLLO-P01.1 mostró un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G'') (ver Figura 25), lo cual sugiere que esta tinta presenta una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. También se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia ensayada, el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel. De entre todas las muestras analizadas hasta ahora, esta es la que presenta unos mayores niveles de elasticidad y viscosidad (muy alto grado de estructuración).

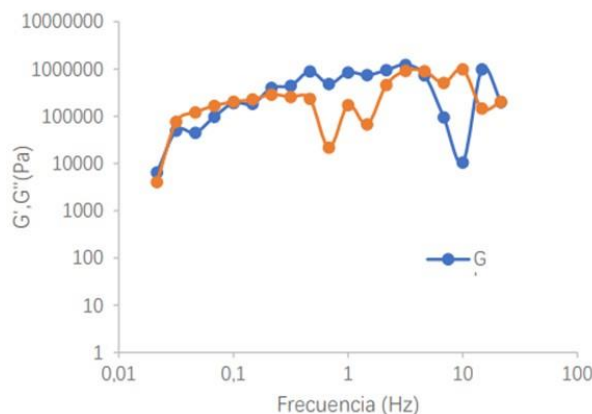


Figura 25. Barrido de frecuencia de la muestra POLLO-P01.1.

CONCLUSIONES para las masas alimentarias obtenidas a partir de descartes de POLLO – FORMULACIÓN POLLO-P01.1.

De acuerdo con la inspección visual de la masa desarrollada (en términos de viscosidad, aspecto gomoso, etc.), la formulación POLLO-P01.1 fue seleccionada como la más prometedora. Los parámetros reológicos analizados indican que la muestra es pseudoplástica, aunque presenta una fuerza mecánica muy elevada. Sin embargo, el barrido de frecuencia indica un nivel de estructuración mayor respecto a las muestras ensayadas anteriormente (ARÁNDANO y ATÚN).

Se evaluó la procesabilidad de la masa sometiéndola al proceso de impresión 3D mediante extrusión, siguiendo el protocolo de actuación definido anteriormente (ver Figura 12). Al igual que para las masas anteriores, la geometría 3D seleccionada para la evaluación de la procesabilidad fue una pirámide, para la que se utilizaron los parámetros de proceso considerados como óptimos para el mazapán comercial (la optimización de los parámetros de proceso de impresión 3D por extrusión se llevará a cabo en la tarea T4.2).

Tal y como se puede ver en la Figura 26, el proceso de impresión 3D fue fallido. A pesar de que el aspecto visual y textura de la masa alimentaria analizada es similar al de las masas basadas en ATÚN (Figura 26a), los procesos de impresión ensayados fueron fallidos ya que en ningún caso se consiguió imprimir el diseño objetivo (a modo de ejemplo, ver resultado de pruebas de impresión en Figura 26b). A pesar de los malos resultados, en la siguiente tarea (T2.2) se estudia el comportamiento/estabilidad de la masa con el tiempo para confirmar su descarte para las tareas posteriores.

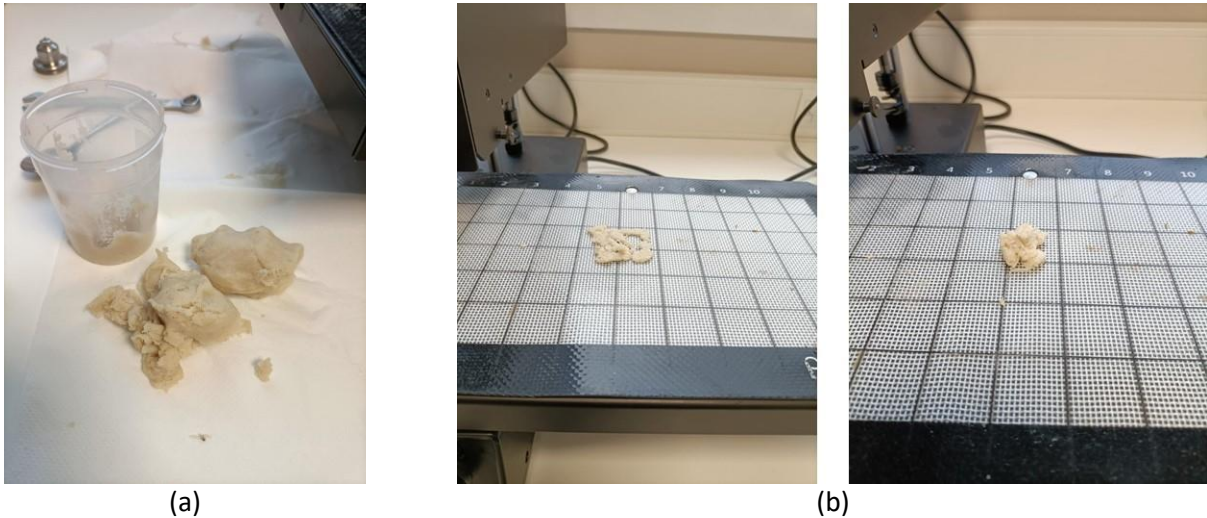


Figura 26. Impresión con la masa POLLO-P01.1. a) aspecto visual de la masa; b) impresiones fallidas

T2.2. Selección de las masas finales: caracterización y estudio de estabilización de las formulaciones

Esta tarea ha estado activa desde el mes 4 (agosto 2022) hasta el mes 17 (sept. 2023), por lo que ya se ha justificado parte del trabajo técnico en la anualidad del 2022. El objetivo principal de esta tarea es seleccionar las masas alimentarias óptimas a través de caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas, antes y después de la impresión 3D, para verificar la idoneidad de las masas seleccionadas. Además, se llevaron a cabo estudios de la estabilidad de las masas monitorizando los parámetros anteriores en diferentes períodos de tiempo (en todos los casos, el almacenamiento se hizo en refrigeración a una temperatura de 4°C):

- i) 1, 3 y 7 días tras el desarrollo de la masa (previo a la impresión);
- ii) 1, 3 y 7 días tras el proceso de impresión 3D.

Al estudio de estabilidad anterior hay que añadir la caracterización reológica en los días 1, 3 y 7 días tras el desarrollo de la masa (previo a la impresión).

A nivel físico-químico se determinaron los siguientes parámetros:

- pH, mediante medidor de pH marca Mettler Toled, modelo fivego kit food;
- Actividad de agua (a_w), mediante medidor de actividad de agua marca Novasina, modelo LABMAster-aw neo;
- Color, a través de la determinación de los parámetros L (Luminosidad) y b (coordenadas amarillo/azul). Para ello se empleó un espectrofotómetro portátil KONICA MINOLTA modelo CM-2300.

A nivel microbiológico se determinaron los valores de aerobios mesófilos, enterobacterias, bacterias ácido-lácticas y mohos y levaduras.

FORMULACIÓN BASADA EN ARÁNDANO DE DESTRÍO – ARAN-P2.2

En este punto, destacar que, aunque la formulación ARAN-P2.2 (almidón + pectina) fue la que mejores resultados arrojó y sobre la que se realizó el estudio de estabilidad, a nivel microbiológico también se

estudiaron las muestras ARAN-P2.3 (almidón) y ARAN-P2.4 (agar) y la muestra ARAN-P2.2 mejor valorada, se estudió también a 1, 3 y 7 días.

En base a los resultados obtenidos en la tarea T2.1, la masa alimentaria desarrollada a partir del destrío de arándano fue la ARAN-P2.2

- **Estudio de estabilización antes de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 23) y microbiológicas (Tabla 24) obtenidas antes del proceso de impresión 3D. Cabe destacar que a nivel microbiológico no se detectaron cambios en los recuentos de los diferentes parámetros microbiológicos entre el primer y el séptimo día.

Tabla 23. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ARAN-P2.2 antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
	L			b			pH			a _w		
ARAN-P2.2	34,7	34,1	33,9	-3,5	-3,2	-3,1	3,9	3,9	3,8	0,97	0,97	0,97

Tabla 24. Resultados de la caracterización microbiológica antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	pH	a _w	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g			
Masa arándanos P2.2	3,60E+03	<10	<10	<10	3,4	0,95	ALM+PEC (P2.2)
Masa arándanos P2.3	2,00E+03	<10	<10	<10	3,1	0,95	ALM (P2.3)
Masa arándanos P2.4	2,00E+02	<10	3,00E+00	<10	2,9	0,97	AG (P2.4)

Tabla 25. Resultados de la caracterización microbiológica antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
ARAN-P2.2 (día 1)	3.60E+03	<10	<10	<10	
ARAN-P2.2 (día 3)	5,60E+03	<10	<10	<10	
ARAN-P2.2 (día 7)	7,80E+03	<10	<10	<10	

Respecto a la estabilización de la masa en términos de propiedades reológicas, se llevó a cabo el estudio en los días 1, 5 y 9 tras su preparación:

- Curvas de flujo (Figura 27): se ajustaron al modelo de *Herschel-Bulkley*, obteniéndose un ajuste con una $r^2 > 0.96$ en todos los casos. Los valores resultantes de los parámetros de interés se presentan en la Tabla 26. Se puede afirmar que la masa es estable ya que su comportamiento no varía de forma relevante durante el período de estudio.

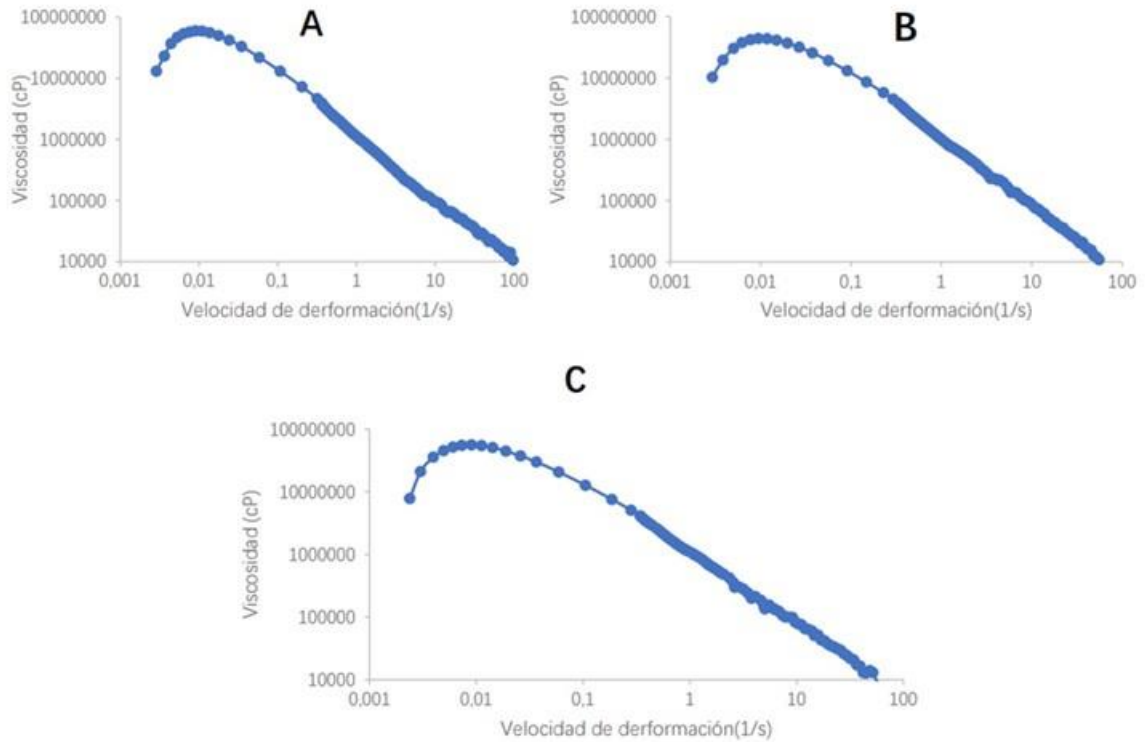


Figura 27. Curvas de flujo de la masa basada en arándano de destrío (formulación ARAN-P2.2). Viscosidad vs Velocidad de deformación: A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día.

Tabla 26. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia (día 0, 4 y 8 corresponden a días 1, 5 y 9).

	τ_0 (Pa)	K (Pa. s ⁿ)	n
AR Day 0	-4.81E+04	4.93E+04	0.001837
AR Day 4	-8.05E+04	8.24E+04	0.001721
AR Day 8	-2.41E+04	2.59E+04	0.001009

- Barrido de esfuerzos (Figura 28): de acuerdo con los resultados obtenidos, la masa mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 2400 Pa (Figura 28A), la cual no varió en los sucesivos días de almacenamiento. Así mismo, se puede concluir que la τ_0 para esta muestra es de aproximadamente 5000Pa, y que este parámetro tampoco se vio afectado durante el periodo de almacenamiento evaluado.

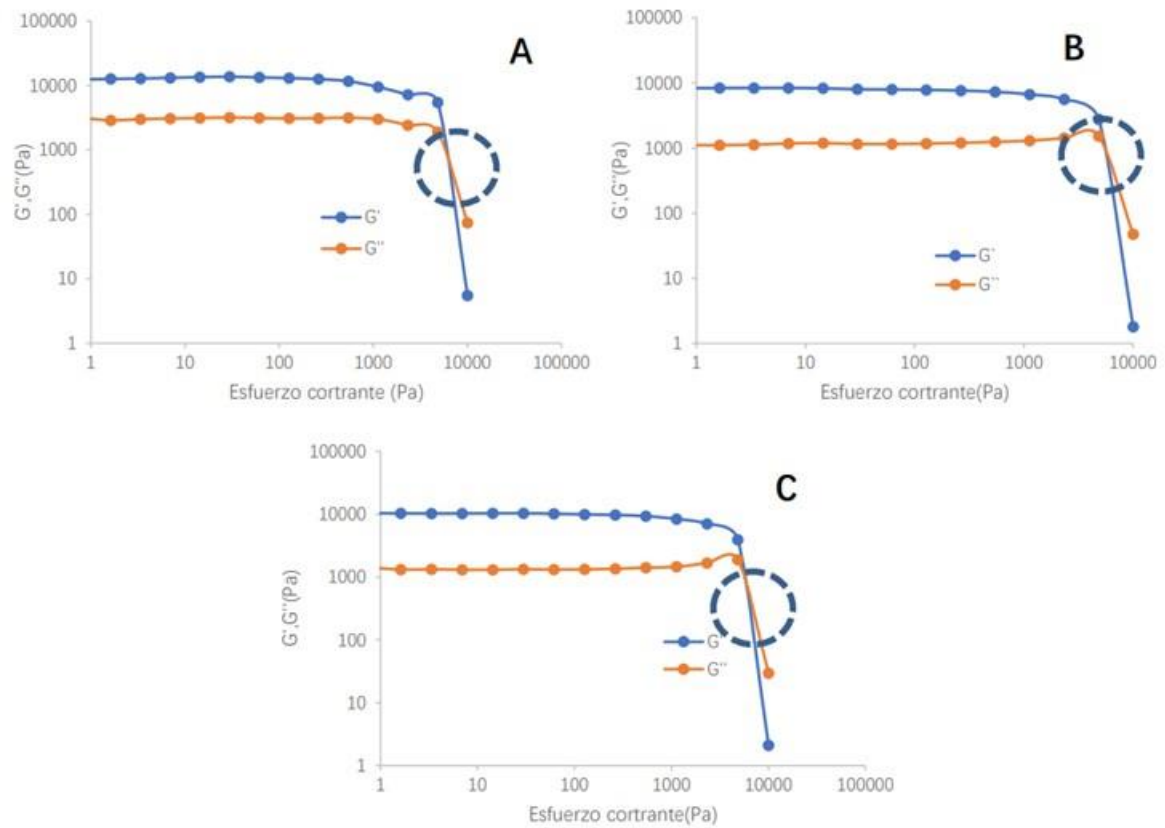


Figura 28. Barrido de esfuerzo de la masa ARAN-P2.2. A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día

- Barrido de frecuencias (Figura 29): los valores de G' observados permanecen constantes a lo largo de los días en nevera, sin embargo, se aprecia una ligera caída en los valores de G'' después de 5 días de almacenamiento, lo cual indica un cierto grado de desestructuración de la muestra. En cualquier caso, estos resultados no coinciden con la alta estabilidad que mostró esta masa en el ensayo de barrido de esfuerzos, lo cual podría interpretarse como un problema puntual de medición que debería de ser corroborado si se observase alguna otra variación en la calidad de los extruidos obtenidos.

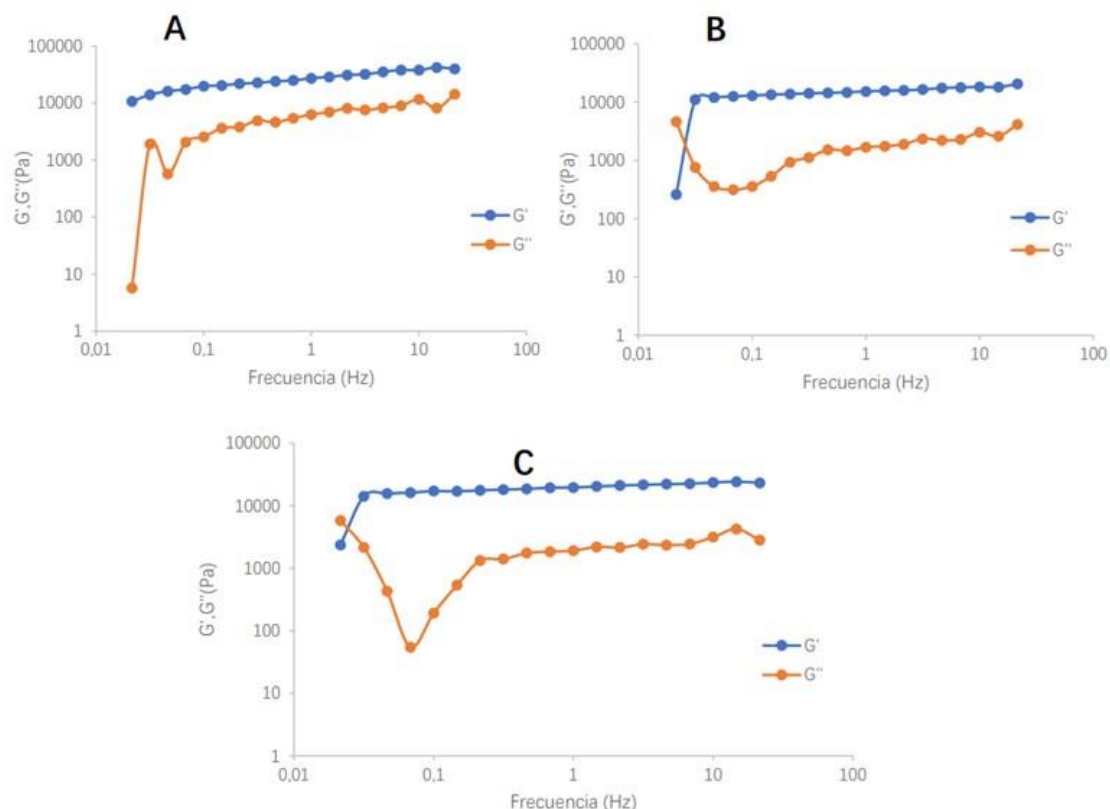


Figura 29. Barrido de frecuencias de la masa ARAN-P2.2. A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día

Como conclusión, cabe destacar que la masa ARAN-P2.2 mostró una gran estabilidad en el barrido de esfuerzos durante el almacenamiento, pero se pudo apreciar cierto grado de desestructuración, también ligero, a lo largo de los días. En cualquier caso, las variaciones medidas y el análisis visual de las masas sugiere que dichas desviaciones podrían ser puntuales y relacionadas con la propia técnica de medición.

- **Estudio de estabilización después de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 27) y microbiológicas (Tabla 28) obtenidas tras el proceso de impresión 3D. Al igual que en el caso anterior, cabe destacar que a nivel microbiológico no se detectaron cambios en los recuentos de los diferentes parámetros microbiológicos entre el primer y el séptimo día.

Tabla 27. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ARAN-P2.2 después del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7			
	L			b			pH			a _w		
ARAN-P2.2	34,5	34,2	34,4	-3,1	-3,3	-2,9	3,9	3,8	3,8	0,97	0,97	0,97

Tabla 28. Resultados de la caracterización microbiológica después del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	pH	a _w	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g			
Masa arándanos P2.2	3,60E+04	<10	<10	<10	3,4	0,95	ALM+PEC (P2.2)
Masa arándanos P2.3	2,00E+04	<10	<10	<10	3,1	0,95	ALM (P2.3)

Masa arándanos P2.4	2,00E+03	<10	3,00E+00	<10	2,9	0,97	AG (P2.4)
---------------------	----------	-----	----------	-----	-----	------	-----------

De la misma manera que para el estudio antes de la impresión, a lo largo del tercer y séptimo día no se observaron diferencias en los recuentos. Es interesante destacar que las formulaciones estudiadas, tanto previo a la impresión 3D como posterior a la impresión 3D, se conservaron en refrigeración a una temperatura de 4° C.

Para la formulación ARAN-P2.2, finalmente seleccionada por los óptimos resultados, se analizó la carga de los patógenos con mayor incidencia, en concreto *Samonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, sin detectar presencia (ver Tabla 29). Del mismo modo, se llevó a cabo la caracterización en términos de macronutrientes (Tabla 30)

Tabla 29. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
Masa ARAN-P2.2	No detectado	No detectado

Tabla 30. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
Masa ARAN-P2.2	15,3	4,7	1,8	0,92

Además de las caracterizaciones anteriores, sobre la formulación ARAN-P2.2. se llevó a cabo un análisis organoléptico hedónico de “me gusta” “no me gusta”. Es importante indicar que el análisis organoléptico se centró en la apariencia general, textura y palatabilidad de la forma de pirámide impresa, sin analizar atributos como el sabor, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la posibilidad de impresión de 3D de la masa alimentaria, la cual, en otro entorno y más adelante deberá “saborizarse” para acabar de redondear el producto, tanto en términos de textura e integridad, como a nivel sensorial.

En la Figura 30 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos. El panel de cata estuvo compuesto por 5 catadores, se realizó a tiempos 1 día, 3 días y 7 días desde su impresión y se categorizó en una escala de 1 al 5, en donde 1 es “no me gusta” y 5 es “me gusta mucho”. Como se puede apreciar, la percepción de los

catadores fue muy positiva, siendo la puntuación “4” la más votada y no recibiendo ninguna puntuación por debajo del “3”.

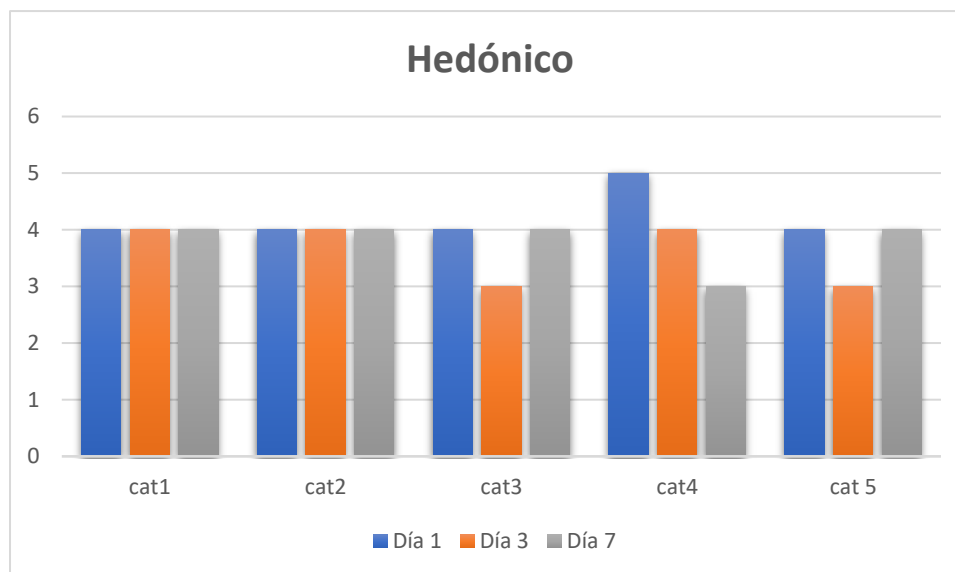


Figura 30. Valoraciones de los catadores de la formulación ARAN-P2.2

FORMULACIÓN BASADA EN ATÚN: ATÚN-P02.1

En base a los resultados obtenidos en la tarea T2.1, la masa alimentaria desarrollada a partir de subproductos de la industria conservera seleccionada fue ATÚN-P02.1

- **Estudio de estabilización antes de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 31) y microbiológicas (Tabla 32) obtenidas antes del proceso de impresión 3D. Cabe destacar el incremento en los recuentos microbiológicos observados, resultando una masa con potencial de degradación, máxime teniendo en cuenta que el origen de la materia prima es a partir de subproductos.

Tabla 31. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ATÚN-P02.1 antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)									aw		
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
ATÚN-P02.1	L			b			pH			aw		
ATÚN-P02.1	64,7	65,4	66,0	14,9	14,7	15,2	5,8	5,5	5,4	0,96	0,94	0,94

Tabla 32. Resultados de la caracterización microbiológica antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
ATÚN-P02.1 (día 1)	<100	<10	<10	<10	
ATÚN-P02.1 (día 3)	4,60E+02	<10	<10	<10	
ATÚN-P02.1 (día 7)	7,40E+03	1,5E+03	2,1E+02	3,5E+02	

Respecto a la estabilización de la masa en términos de propiedades reológicas, se llevó a cabo la caracterización en los días 1, 5 y 9 tras su preparación:

- Curvas de flujo (Figura 31): se ajustaron al modelo de *Herschel-Bulkley*, obteniéndose un ajuste con una $r^2 > 0.98$ en todos los casos. Los valores resultantes de los parámetros de interés se presentan en la Tabla 33. Se puede afirmar que la masa es estable ya que su comportamiento no varía de forma relevante durante el período de estudio.

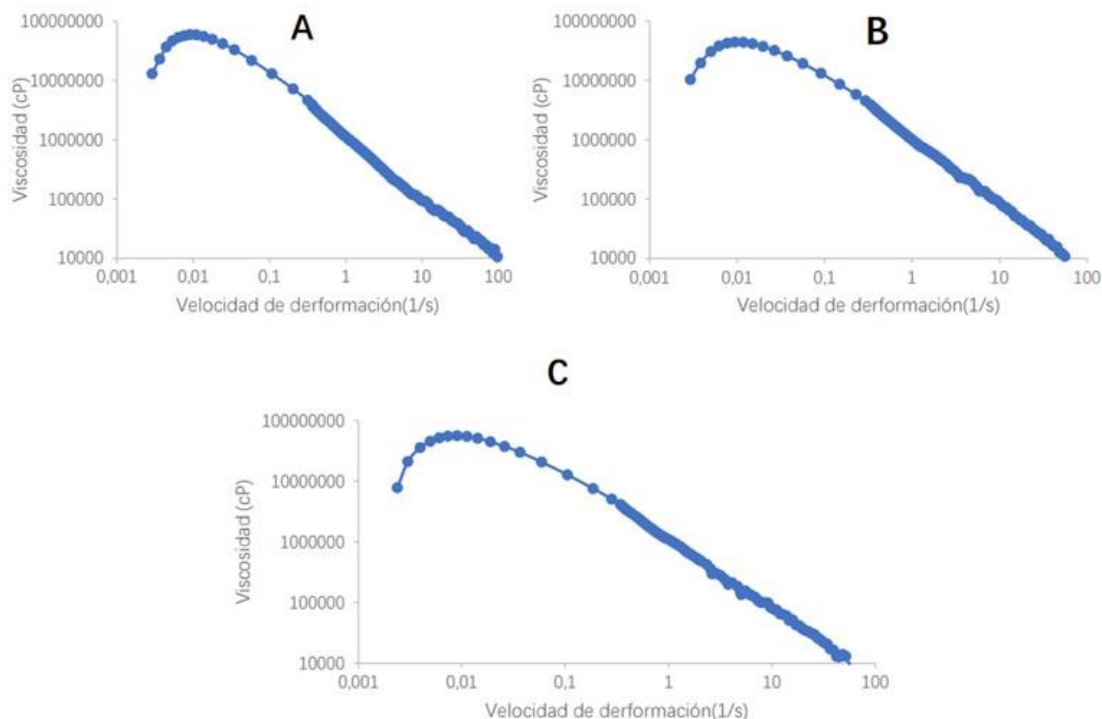


Figura 31. Curvas de flujo de la masa ATÚN-P02.1). Viscosidad vs Velocidad de deformación: A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día.

Tabla 33. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia (día 0, 4 y 8 corresponden a días 1, 5 y 9).

	τ_0 (Pa)	K (Pa. s ⁿ)	n
AT Day 0	-2.55E+04	2.65E+04	0.001559
AT Day 4	210.8	634.6	-0.00158
AT Day 8	-4068	4929	-0.00189

- Barrido de esfuerzos (Figura 32): de acuerdo con los resultados obtenidos, la masa mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 2300 Pa (Figura 32A). Los días 5 y 9, el barrido de esfuerzo de esa misma muestra mostró una disminución en la extensión de la RVL, pudiendo medirse hasta, aproximadamente, los 1100 Pa (Figura 32B y Figura 32C). Así mismo, se puede concluir que la τ_0 para esta muestra, después de un día de almacenamiento, es de 6000Pa, mientras que después de 5 y 9 días el valor de este parámetro disminuyó hasta los 3000Pa. Esta reducción en el esfuerzo de fluencia podría interpretarse como una ligera desestructuración de la muestra después de 5 días de almacenamiento.

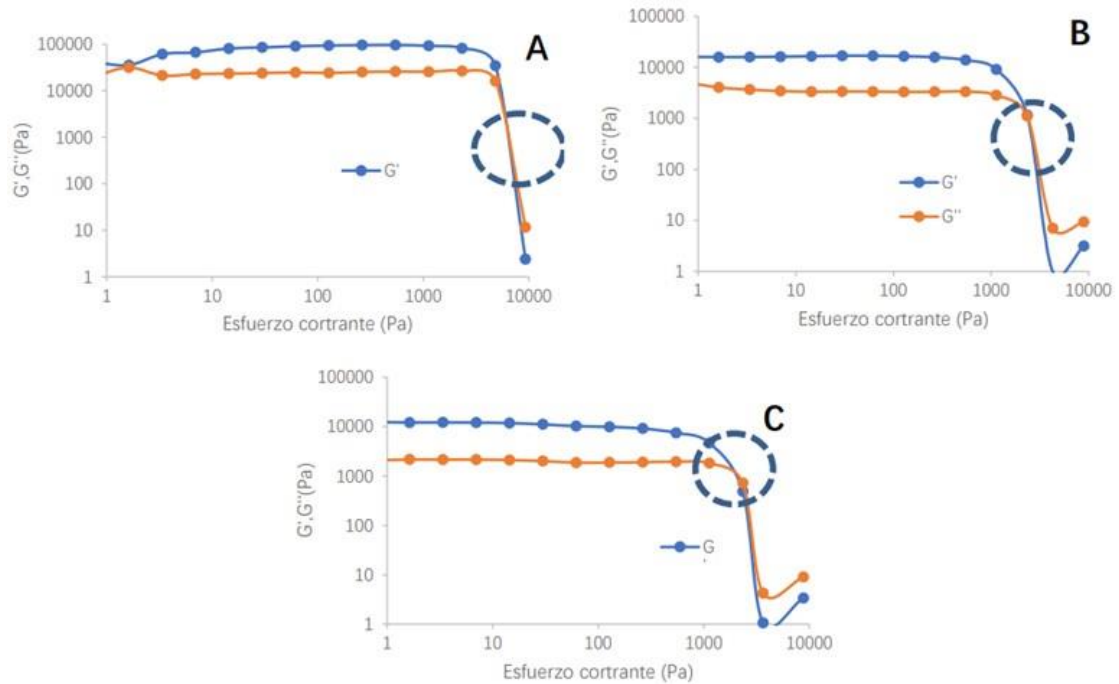


Figura 32. Barrido de esfuerzo de la masa ATÚN-P02.1. A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día

- Barrido de frecuencias (Figura 33): no parece que el almacenamiento haya afectado de manera sensible a sus propiedades viscoelásticas. En concreto, después de 5 y 9 días de almacenamiento, los valores del módulo elástico y el módulo viscoso a lo largo del rango de frecuencias analizado son muy similares.

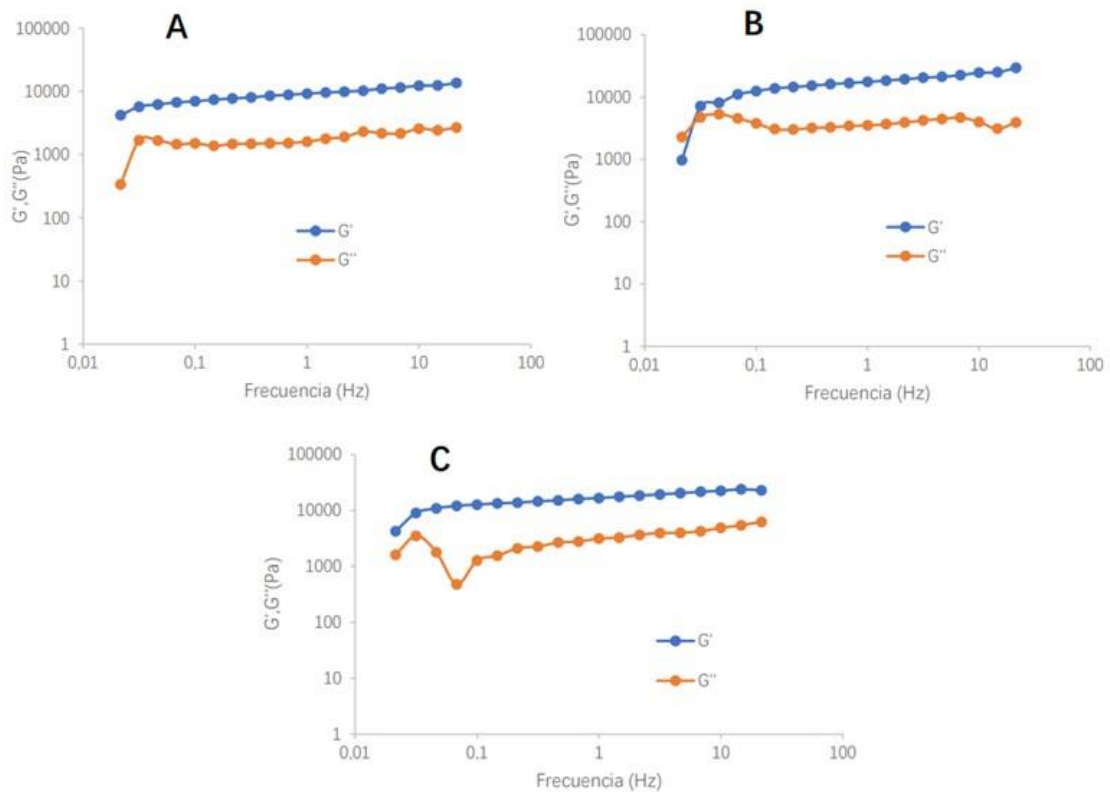


Figura 33. Barrido de frecuencias de la masa ATÚN-P02.1. A) Primer día, B) quinto día, C) noveno día

Como conclusión cabe destacar que la formulación ATÚN-P02.1 sufrió una ligera reducción en la extensión de su RVL y en los valores medidos de τ_0 después de 5 días de almacenamiento. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en el barrido de frecuencias, su viscoelasticidad se mantuvo prácticamente intacta durante los 10 días en nevera.

- **Estudio de estabilización después de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 34) y microbiológicas (Tabla 35) obtenidas tras el proceso de impresión 3D.

Tabla 34. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ATÚN-P02.1 después del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
	L			b			pH			a _w		
ATÚN-P02.1	65,1	64,8	65,8	15,3	14,9	15,7	5,5	5,7	5,6	0,95	0,95	0,96

Tabla 35. Resultados de la caracterización microbiológica después del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
Masa ATÚN-P02.1	8,90E+02	1,20E+01	3,40E+01	<10	

Para la formulación ATÚN-P02.1, finalmente seleccionada por los óptimos resultados, se analizó la carga de los patógenos con mayor incidencia, en concreto *Samonella* spp. y *Listeria monocytogenes*, sin detectar presencia (ver Tabla 36). Del mismo modo, se llevó a cabo la caracterización en términos de macronutrientes (Tabla 37).

Tabla 36. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
Masa ATÚN-P02.1	No detectado	No detectado

Tabla 37. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
Masa ATÚN-P02.1	8,06	<0,5	16,13	0,96

Además de las caracterizaciones anteriores, se llevó a cabo un análisis organoléptico hedónico de la masa ATÚN-P02.1 basado en una respuesta de “me gusta” “no me gusta”. Es importante indicar que el análisis organoléptico se centró en la apariencia general, textura y palatabilidad de la forma de pirámide impresa, sin analizar atributos como el sabor, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la posibilidad de impresión de 3D de la masa alimentaria, la cual, en otro entorno y más adelante, deberá “saborizarse” para acabar de redondear el producto, tanto en términos de textura e integridad, como a nivel sensorial.

En la Figura 34 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos. El panel de cata estuvo compuesto por 5 catadores, se realizó a tiempos 1 día, 3 días y 7 días desde su impresión y se categorizó en una escala de 1 al 5, en donde 1 es “no me gusta” y 5 es “me gusta mucho”. Como se puede apreciar, la percepción de los catadores fue muy positiva, siendo la puntuación “4” la más votada.

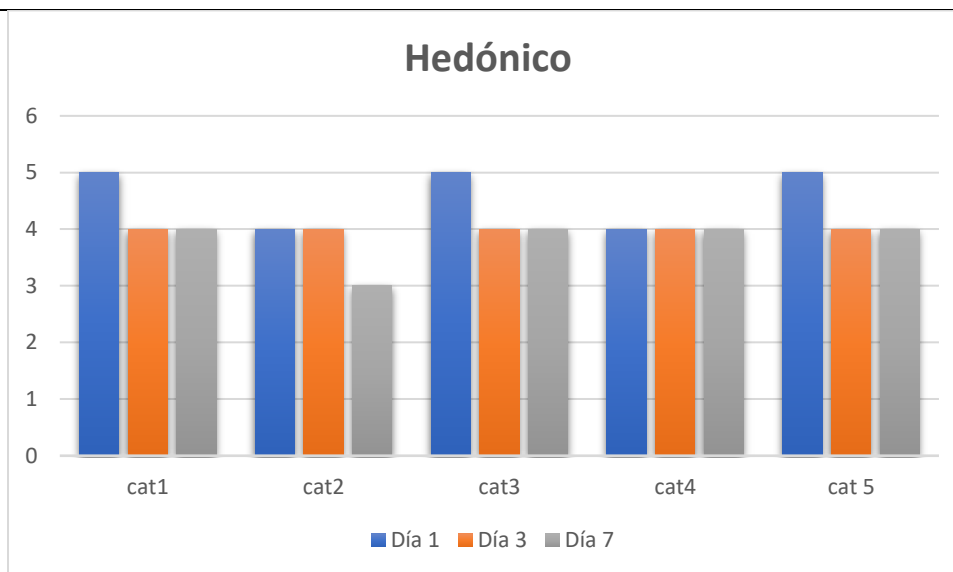


Figura 34. Valoraciones de los catadores de la masa ATÚN-P02.1

FORMULACIÓN BASADA EN DESCARTES DE POLLO: POLLO-P01.1

Aunque los resultados de impresión 3D con la masa POLLO-P01.1 no fueron exitoso, se decidió seleccionar esta masa para el estudio de estabilidad debido a que sus propiedades la convierten en un potencial ingrediente para su uso en formulaciones de otras masas.

- **Estudio de estabilización antes de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 38) y microbiológicas (Tabla 39) obtenidas antes del proceso de impresión 3D.

Tabla 38. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación POLLO-P01.1 antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
	L			b			pH			a _w		
POLLO-P01.1	64,9	65,8	66,7	16,3	15,8	15,2	6,1	6,2	6,2	0,94	0,94	0,95

Tabla 39. Resultados de la caracterización microbiológica antes del proceso de impresión 3D

Muestra	Rcto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
POLLO-P01.1 (día 1)	2,40E+05	4,9E+04	<100	4,10E+02	
POLLO-P01.1 (día 3)	6,80E+05	3,40E+04	<100	5,50E+02	
POLLO-P01.1 (día 7)	3,40E+06	6,60E+03	<100	3,90E+02	

Como se puede ver, la estabilidad de la masa en términos de parámetros físico-químicos es adecuada, mientras que en términos microbiológicos a tiempo 7 nos encontramos en el límite de aceptación del recuento de aerobios mesófilos.

Respecto a la estabilización de la masa en términos de propiedades reológicas, se llevó a cabo la caracterización en los días 1, 4 y 8 tras su preparación:

- Curvas de flujo (Figura 35): se ajustaron al modelo de *Herschel-Bulkley*, obteniéndose un ajuste con una $r^2 > 0.95$ en todos los casos. Los valores de los parámetros de interés que resultaron de dicho ajuste se consideraron anómalos, en la línea de las muestras analizadas en informes previos (valores negativos para τ_0 y cercanos a cero para n), por lo que no se muestran en ninguna tabla.

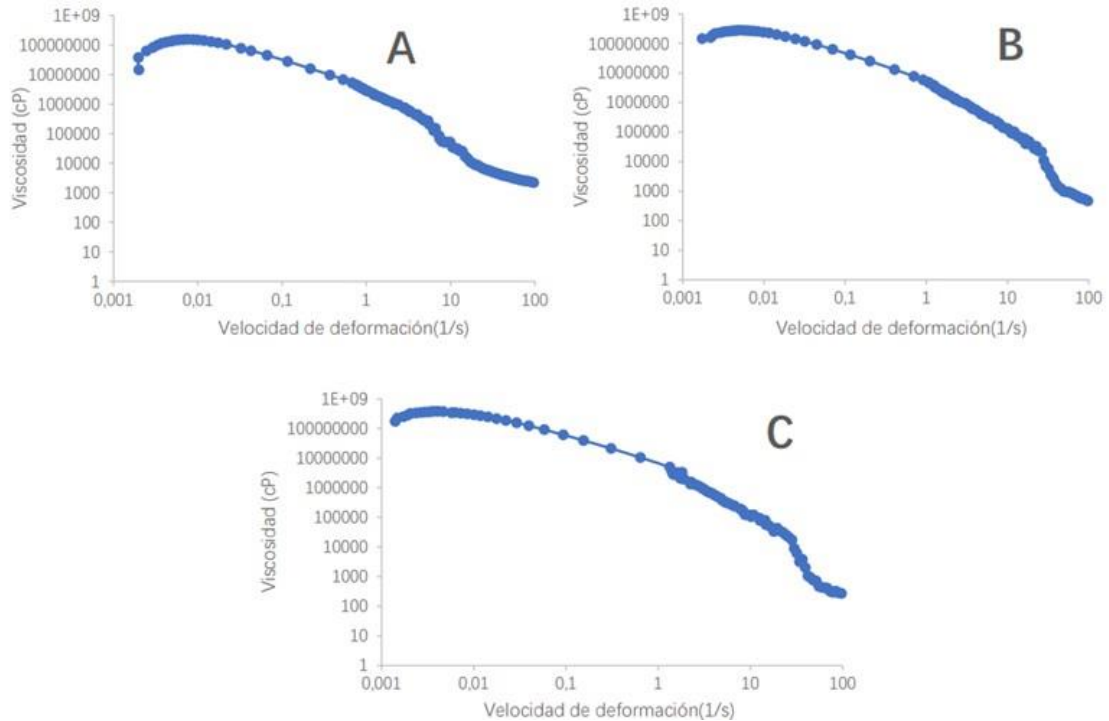


Figura 35. Curvas de flujo de la masa POLLO-P01.1). Viscosidad vs Velocidad de deformación: A) Primer día, B) cuarto día, C) octavo día.

- Barrido de esfuerzos (Figura 36): de acuerdo con los resultados obtenidos, la masa mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 2300 Pa, independientemente del tiempo de almacenamiento. Atendiendo al punto en el cual la G'' se iguala a la G' en cada caso, y que se ha marcado en la figura en cada barrido de esfuerzos con un círculo de línea discontinua, se puede concluir que la τ_0 para esta muestra tampoco varió durante los ocho días en nevera, teniendo este parámetro un valor similar en los tres casos (aproximadamente 7000Pa).

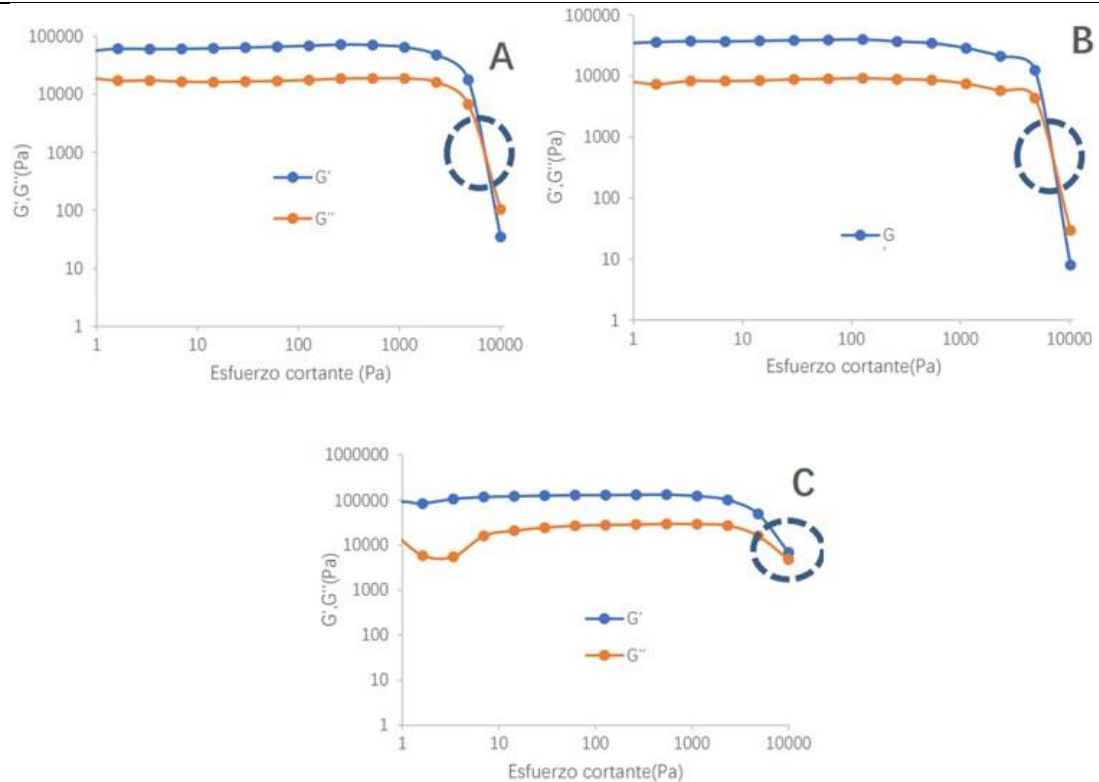


Figura 36. Barrido de esfuerzo de la masa POLLO-P01.1. A) Primer día, B) Cuarto día, C) Octavo día

- Barrido de frecuencias (Figura 37): de acuerdo con los resultados obtenidos, y de manera general y durante todo el periodo de análisis, la masa mostró un valor de G' más alto que G'' , lo cual sugiere que su estructura es más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. También se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia ensayada, el valor de G' y G'' también aumenta en todos los casos, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel. De entre todas las muestras analizadas hasta ahora, esta es la que presenta unos mayores niveles de elasticidad y viscosidad (muy alto grado de estructuración).

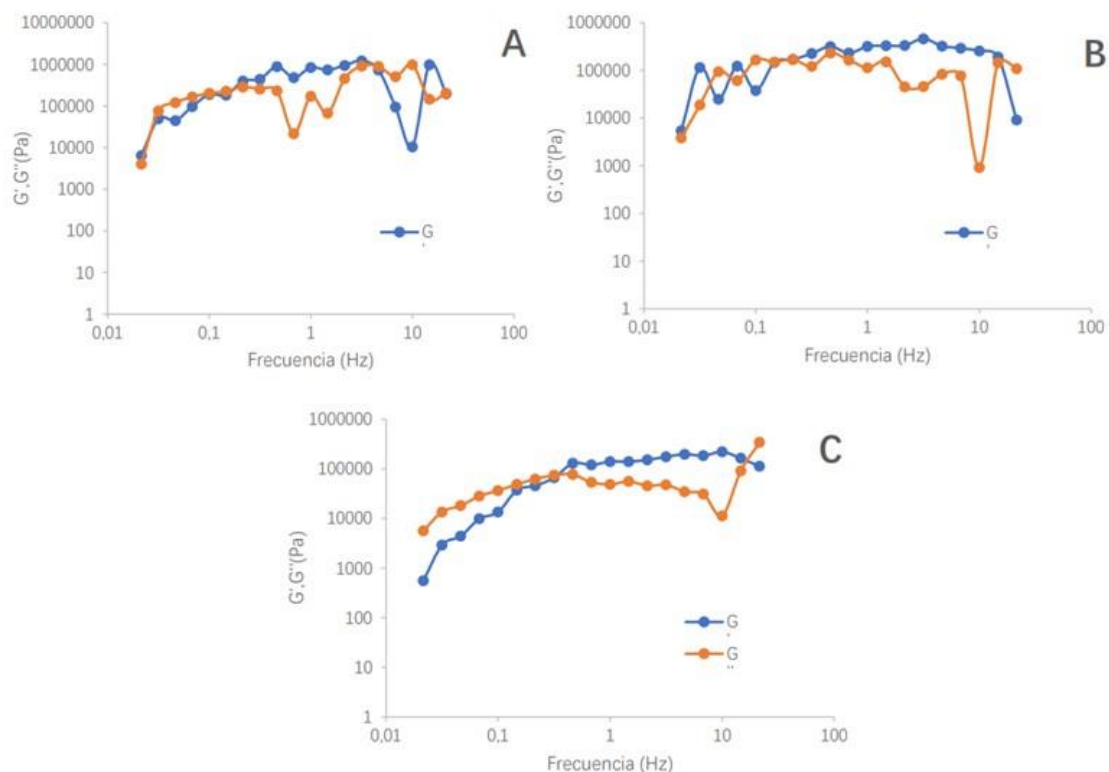


Figura 37. Barrido de frecuencias de la masa POLLO-P01.1. A) Primer día, B) cuarto día, C) octavo día

Como conclusión, se puede destacar que la masa POLLO-P01.1 presenta una buena estabilidad a lo largo del periodo de almacenamiento y un nivel de estructuración mayor que las masas anteriormente analizadas, tal y como se concluyó en el análisis inicial de esta masa (T2.1).

- **Estudio de estabilización después de la impresión 3D**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 40) y microbiológicas (Tabla 41) obtenidas tras el proceso de impresión 3D.

Tabla 40. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación POLLO-P01.1 después del proceso de impresión 3D

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
	L			b			pH			a _w		
POLLO-P01.1	66,4	66,9	65,8	16,4	15,2	16,9	6,1	6,2	6,2	0,95	0,95	0,95

Tabla 41. Resultados de la caracterización microbiológica después del proceso de impresión 3D

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
Masa POLLO-P01.1	3,60E+03	2,80E+02	<100	<100	

También se analizó la carga de los patógenos con mayor incidencia, en concreto *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes*, sin detectar presencia (ver Tabla 42). Del mismo modo, se llevó a cabo la caracterización en términos de macronutrientes (Tabla 43).

Tabla 42. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
Masa POLLO-P1.1	No detectado	No detectado

Tabla 43. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
Masa POLLO-P1.1	13,52	1,90	18,57	1,93

Además de las caracterizaciones anteriores, se llevó a cabo un análisis organoléptico hedónico de la masa POLLO-P01.1 basado en una respuesta de “me gusta” “no me gusta”. Es importante indicar que el análisis organoléptico se centró en la apariencia general, textura y palatabilidad de la forma de pirámide impresa, sin analizar atributos como el sabor, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la posibilidad de impresión de 3D de la masa alimentaria, la cual, en otro entorno y más adelante, deberá “saborizarse” para acabar de redondear el producto, tanto en términos de textura e integridad, como a nivel sensorial.

En la Figura 38 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos. El panel de cata estuvo compuesto por 5 catadores, se realizó a tiempos 1 día, 3 días y 7 días desde su impresión y se categorizó en una escala de 1 al 5, en donde 1 es “no me gusta” y 5 es “me gusta mucho”. Como se puede apreciar, la percepción de los catadores fue muy positiva, siendo la puntuación “4” la más votada e incluso con varios atributos puntuados en 5.

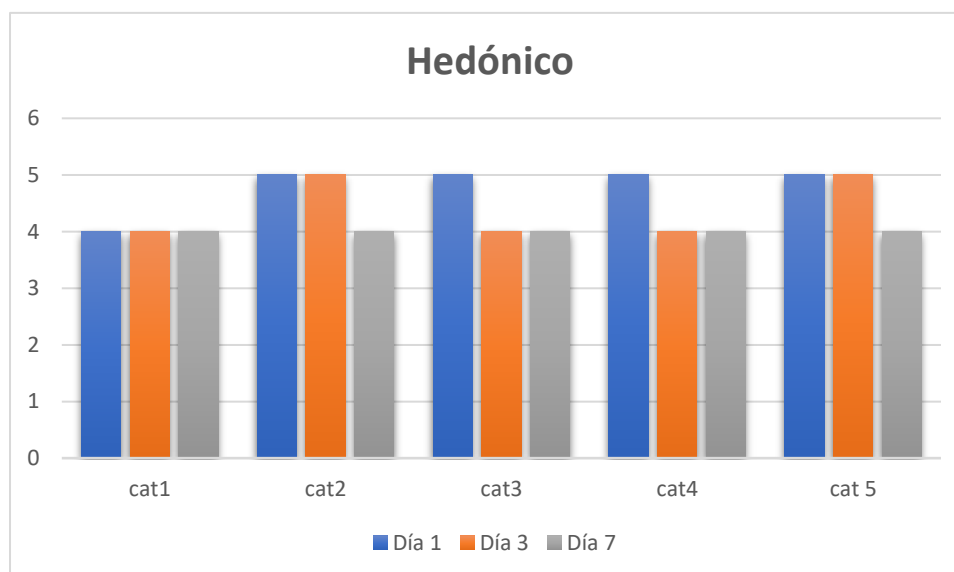


Figura 38. Valoraciones de los catadores de la masa POLLO-P01.1

Por otro lado, en cuanto a la estabilización de las masas, en un primer lugar se valoró la tecnología de altas presiones hidrostáticas, pero finalmente se descartó por ser un proceso más apto para matrices con nutrientes sensibles, no siendo este caso. De esta manera se comenzó a trabajar en la estrategia del tratamiento térmico y teniendo en cuenta que posteriormente se iban a emplear probióticos (sensibles a los calentamientos intensos y prolongados), se optó por un tratamiento de auto-pasteurización, a través envasado en caliente de las masas tras el procesado de las mismas con el objetivo de mantener estable la carga microbiológica durante los 7 días de vida útil establecidos en condiciones de refrigeración.

H3. FUNCIONALIZACIÓN DE MASAS ALIMENTARIAS FINALES

El objetivo de este HITO, cuya fecha de finalización fue el 30/11/2023 (correspondiente con el mes 19 de ejecución), fue funcionalizar las masas alimentarias seleccionadas en el HITO anterior a través de la incorporación de pre/probióticos e ingredientes naturales para mejora de propiedades nutricionales y organolépticas.

A modo de recordatorio, las masas seleccionadas en base a los resultados obtenidos en el HITO 2, y que mostraron un mayor potencial para el desarrollo de prototipos alimentarios 3D, fueron:

- Masa desarrollada a partir de arándano de destrío – **FORMULACIÓN ARAN-P2.2**
- Masa desarrollada a partir de subproductos generados en la industria conservera – **FORMULACIÓN ATÚN-P02.1**

T3.1. Estrategias de incorporación de pre/probióticos

En esta tarea se llevó a cabo la funcionalización de las masas alimentarias seleccionadas a través de la incorporación de prebióticos y/o probióticos. El objetivo fue implementar una funcionalidad a las masas para proporcionarles un valor añadido alineado con las necesidades/demandas del mercado actual, en concreto, el dirigido a grupos poblacionales específicos (ancianos, vegetarianos/veganos, personas con determinadas patologías, etc.).

- **Incorporación de prebióticos:**

Para llevar a cabo la incorporación de un prebiótico se seleccionó la masa basada en subproductos generados en la industria conservera – **FORMULACIÓN ATÚN-P02.1**. El motivo de seleccionar esta masa fue que el atún es una matriz eminentemente proteica sin presencia de fibra, mientras que un probiótico se basa justamente en la composición de fibras e hidratos de carbono no digeribles. De esta manera se podía desarrollar un alimento equilibrado con la presencia de proteína propia del atún y la fibra añadida

Siguiendo la estrategia de economía circular mantenida durante todo el proyecto, se seleccionó la magaya como materia prima para la incorporación del prebiótico. Como ya se explicó en el HITO 1 (ver Tabla 1) la magaya es un subproducto de la manzana generado durante el proceso de producción de sidra y de gran incidencia en Asturias

En base a la caracterización llevada a cabo en el HITO 1, tanto microbiológica (ver Tabla 3), pero sobre todo nutricional (ver Tabla 4), la magaya constituye una materia prima natural muy adecuada para su uso como prebiótico debido al elevado contenido en hidratos de carbono fuera de la categoría de azúcares y a la baja actividad de agua que presenta, lo que es una garantía a la hora de inhibir la proliferación microbiológica.

En la Tabla 44 se recoge la nueva formulación desarrollada en la que se incorpora la magaya (**ATÚN-P02.1+MAG**). Previo a su incorporación, la magaya fue procesada de la siguiente manera: descongelación, tratamiento térmico para reducción de la carga microbiológica, deshidratación por FIR (infrarrojo lejano) y molienda hasta tamaño de partícula en forma de polvo.

Una vez procesada la magaya, la metodología seguida para el desarrollo de la nueva formulación enriquecida con prebiótico fue: 1) triturar el atún con el agua; 2) mezclar la sal con la pectina y triturar con el atún; 3) añadir pectina + almidón + fibra acacia+magaya.

Tabla 44. Formulación ATÚN-P02.1+MAG: incorporación de prebiótico (magaya).

ATÚN-P02.1+MAG			
INGREDIENTE	%	CANTIDAD	COMPROBACIÓN
Atún	80,00%	672	80,00%
Agua	20,00%	168,00	20,00%
SUBTOTAL	100,00%	840,00	100,00%

Magaya	3,00%	25,20	3,00%
Eskugel	8,00%	67,20	8,00%
Pectina	3,00%	25,20	3,00%
Fibra Acacia	1,50%	12,60	1,50%
Sal	1,50%	12,60	1,50%

La caracterización de esta masa alimentaria, junto con el estudio de estabilidad de la misma, se recogen en la tarea T3.3.

- **Incorporación de probióticos**

Para conseguir incorporar con éxito un probiótico a las diferentes masas, se trabajó en los siguientes puntos:

- a. La selección de la cepa y la cantidad de inóculo a añadir: se recurrió a probióticos disponibles comercialmente y se estudió la posibilidad de seleccionar compuestos activos presentes en el cepario de bacterias ácido lácticas de ASINCAR; Finalmente se seleccionó el probiótico comercial *Bifidobacterium lactis* como probiótico más adecuado, principalmente por ser una de las cepas más estudiadas, por ser un probiótico con demostrado efecto beneficioso a nivel intestinal y del sistema inmunitario y por ser un probiótico asequible en términos de disponibilidad comercial. Además, está reconocida como segura (GRAS) notificado por The Food and Drug Administración (FDA) y cualificada de Seguridad (QPS) otorgada por la European Food Autoridad de Seguridad (EFSA).
- a) Se estudió la capacidad de crecimiento del inóculo en la masa alimentaria;
- b) Se evaluó el impacto que tendrá sobre las características organolépticas (sensoriales), la procesabilidad del producto final y la aceptación del producto por el consumidor (actividad contemplada en la tarea T3.3.).

Para la incorporación de un probiótico se seleccionó la masa desarrollada a partir de arándano de destrío – **FORMULACIÓN ARAN-P2.2**. El motivo de seleccionar esta masa fue que no se contempla ningún procesamiento térmico posterior a la extrusión 3D que pueda afectar a la funcionalidad del compuesto activo. Asimismo, se seleccionó la matriz de arándano al ser un alimento que de por sí es fuente de fibra, sustrato para el adecuado crecimiento y afianzamiento del probiótico en la matriz.

Es necesario indicar que cualquier procesamiento térmico para asegurar tiempos de vida útil adecuados, realizado sobre la masa alimentaria, o sobre el propio prototipo 3D, pueden afectar la supervivencia del probiótico utilizado. Entre las alternativas estudiadas para garantizar la supervivencia del probiótico, se encuentran:

- Inmovilizar o encapsular los probióticos en diferentes matrices antes de incorporarlos a la masa: para ello se recurrirá a encapsulantes disponibles comercialmente y se estudiará la funcionalidad de los compuestos activos incorporados tras someter las masas a procesos térmicos (esterilización, pasteurización convencional, pasteurización flash, etc.) de conservación. En este punto, se realizaron pruebas de microencapsulación del probiótico empleando leche en polvo como material encapsulante y procesándolo a través de la tecnología de Spray Drying; concretamente se empleó un equipo de la marca Büchi, modelo B290.
- Buscar estructuras de impresión con mayor área de exposición superficie/volumen.

En la Tabla 45 se recoge la nueva formulación desarrollada en la que se incorpora el probiótico *Bifidobacterium lactis*, BB-12® (**ARAN-P2.2+PROB**).

Tabla 45. Formulación ARAN-P2.2+PROB: incorporación de probiótico.

ARAN-P2.2+PROB				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo arándano	10	79%	700	79%

Pectina	0,7	6%	49	6%
Almidón pregelatinizado	2	16%	140	16%
Bifidus			10	
	12,7	100%	889	100%

Se inoculó a una concentración de 10E+09/g muestra de acuerdo a la recomendación de diversos estudios¹²³.

(1) Hojsak et al. 2010, Clinical nutrition 2010; Hatakka et al. BMJ 2001

(2) Gorbach et at. Nutrition today. 1996; 31(6):2S-4S

(3) Eskesen et al. 2015. Br J Nutr. 2015

La caracterización completa de esta nueva formulación viene recogida en la tarea T3.3.

T3.2. Incorporación de ingredientes naturales (estrategia *clean-label*) para mejora de las propiedades nutricionales y organolépticas

En esta tarea se modificó la formulación de las masas seleccionadas en el hito anterior a través de la incorporación de ingredientes naturales, es decir, siguiendo un enfoque *clean-label*. El objetivo final fue mejorar los perfiles nutricionales y organolépticos, haciendo que el alimento sometido a impresión 3D tenga un valor añadido y aporte una funcionalidad por encima del propio alimento. Por lo tanto, a través de esta tarea se pretende conseguir que las masas alimentarias lleguen a ser matrices funcionales que no contemplen en su lista de ingredientes ningún aditivo ni número E del que tanto rehúye el consumidor final. Al igual que en la tarea anterior, para llevar a cabo esta tarea se han utilizado ingredientes naturales alineados con la estrategia de economía circular mantenida durante todo el proyecto.

La masa **ATÚN-P02.1+MAG**, desarrollada en la tarea anterior (T3.1) a partir de la formulación ATÚN-P02.1 y en la que se incorporó magaya, constituye un primer ejemplo de masa funcionalizada a través de la incorporación de un ingrediente natural de alto valor (ver formulación ATÚN-P02.1+MAG en la Tabla 44).

Se evaluó también el potencial de otro subproducto alimentario de gran incidencia en Asturias: **LACTOSUERO** (ver Tabla 1). Se trata de un subproducto generado en grandes cantidades durante la fabricación de queso y de alto valor nutritivo, aunque constituye también uno de los principales efluentes que más contaminación provoca debido a su elevada carga orgánica. Anualmente se generan alrededor de 160 millones de toneladas en todo el mundo, de las cuales sólo el 50% se reaprovechan, principalmente, para productos utilizados en la alimentación animal (A. Panghal *et al* 2018). Como consecuencia, y tras la entrada en vigor de la ley 5/2002 de 3 de junio sobre vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento (<https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-14187-consolidado.pdf>) la mayoría de industrias lácteas queseras se han visto obligadas a instalar sus propios sistemas de depuración de aguas residuales (EDAR).

Se seleccionó la formulación basada en arándano de destrío **ARAN-P2.2** para su modificación a través de la incorporación de lactosuero. Se optó por el enriquecimiento en lactosuero del arándano por ser el arándano un alimento bajo en proteínas y de esta manera se aprovechaba el contenido en proteínas del lactosuero para incrementar el valor proteico de la matriz final.

Antes de su incorporación a la formulación, el lactosuero se sometió a un procesado para enriquecer la fracción proteica (de mayor valor nutricional). Para ello, el lactosuero se sometió a los procesos de ultrafiltración y microparticulación proteica. En la Tabla 46 se muestra la caracterización de extracto seco, grasa y proteína del microparticulado obtenido.

Tabla 46. Composición del suero antes y después del procesamiento.

	Extracto seco (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
SUERO INICIAL	5,2	0,23	0,73
SUERO ULTRAFILTRADO	9,34	1,36	3,44
SUERO ULTRAFILTRADO TRAS MICROPARTICULACIÓN	8,96	1,28	3,22

En la Tabla 47 se recoge la nueva formulación desarrollada en la que se incorpora la fracción proteica del lactosuero a la masa ARAN-P2.2 (**ARAN-P2.2+LACTO**).

Tabla 47. Formulación ARAN-P2.2+PROB: incorporación de probiótico.

ARAN-P2.2+LACTO				
Ingrediente	Base de cálculo (g)	%	Cantidad (g)	Comprobación (%)
Zumo arándano	10	55%	500	55%
Lactosuero microparticulado	4,13	23%	206,5	23%
Pectina	1	6%	50	6%
Almidón pregelatinizado	2,9	16%	145	16%
	18,03	100%	901,5	100%

La caracterización completa de esta nueva formulación viene recogida en la tarea T3.3.

T3.3. Selección de las masas finales: determinación de la procesabilidad final, caracterización nutricional y estudio de la estabilización de las formulaciones

Para seleccionar las masas finales a utilizar en el HITO 4, en esta tarea se recoge la caracterización completa (características funcionales, nutricionales, organolépticas y reológicas) de las formulaciones desarrolladas en las tareas anteriores (T3.1 y T3.2). Para ello, y siguiendo la misma metodología de trabajo que en el HITO 2, se llevó a cabo la caracterización antes y después de la impresión 3D. Sin embargo, los parámetros reológicos sólo se midieron en día 1, ya que se considera que su estabilidad con el tiempo no debería variar respecto a las masas iniciales analizadas en el HITO 2.

Antes de mostrar los resultados obtenidos, hay que indicar que no se observaron cambios significativos en la procesabilidad 3D de las masas modificadas. Esto se debe a que la concentración utilizada de pre/probióticos e ingredientes naturales fue lo suficientemente baja como para no afectar a la procesabilidad de las formulaciones iniciales (ya evaluada en HITO 2).

- **Formulación ATÚN-P02.1+MAG: incorporación de prebiótico (magaya).**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 48) y microbiológicas (

Tabla 49) obtenidas antes del proceso de impresión 3D. Cabe destacar que no se observaron cambios relevantes respecto a los obtenidos en la masa sin modificar (ver caracterización de la masa ATÚN-P02.1 en el HITO 2).

Tabla 48. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ATÚN-P02.1+MAG

Muestra	Tiempos (días)									aw		
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
ATÚN-P02.1+MAG	45,74	50,26	55,65	18,26	19,93	21,50	3,6	3,6	3,6	0,95	0,95	0,95

Tabla 49. Resultados de la caracterización microbiológica

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
ATÚN-P02.1+MAG (día 1)	<1,0E3	<10	<10	<10	
ATÚN-P02.1+MAG (día 3)	<1,0E3	<10	<10	<10	
ATÚN-P02.1+MAG (día 7)	3,80E+02	<10	2,00E+01	<10	

Como ya se ha indicado, se analizaron las propiedades reológicas de la nueva formulación (sólo en día 1). La curva de flujo se ajustó al modelo de *Herschel-Bulkley*, obteniéndose un ajuste con una $r^2 > 0.96$ (ver Figura 39). Los valores resultantes de los parámetros de interés se presentan en la Tabla 50. Estos resultados sugieren que la muestra se comportó como un sólido, no fluyendo adecuadamente bajo la acción mecánica de la sonda, resbalando esta última sobre la muestra. Este comportamiento es muy similar al presentado por la muestra sin modificar (ver en HITO 2: caracterización reológica de la masa ATÚN-P02.1).

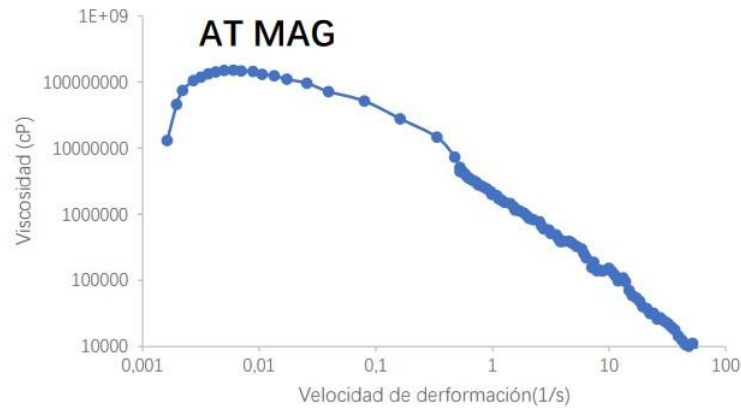


Figura 39. Curvas de flujo de la masa ATÚN-P02.1+MAG. Viscosidad vs Velocidad de deformación

Tabla 50. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia

	τ_0 (Pa)	K (Pa. s ⁿ)	n
AT MAG	-2. 91E+04	3. 04E+04	-0. 00118

El barrido de esfuerzos se presenta en la Figura 40. De acuerdo con los resultados obtenidos la muestra mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 1100-2300Pa. Se puede concluir que la τ_0 para esta muestra es de, aproximadamente, 3000Pa.

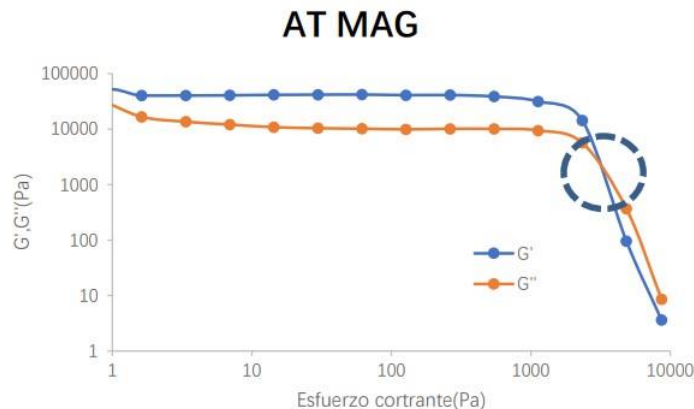


Figura 40. Barrido de esfuerzo de la masa ATÚN-P02.1+MAG. El círculo con línea discontinua señala el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

Respecto al barrido de frecuencia (Figura 41), el resultado mostró un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G''), lo cual sugiere que la masa presenta una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido. También se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia ensayada el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel.

En comparación con los valores recogidos en el HITO 2 para la misma masa sin modificar (ATÚN-P02.1), el barrido de frecuencias de la masa ATÚN-P02.1+MAG presentó valores de G' y G'' que fueron el doble y el

triple, respectivamente, mostrando, por tanto, un alto grado de estructuración de la muestra. Dado que esta mayor elasticidad y viscosidad podría traducirse en una mayor dificultad a la hora de llevar a cabo la impresión 3D, la desestructuración de la muestra vía introducción de agua durante el preparado de la masa, al menos hasta reducir los niveles viscoelásticos a unos valores similares a los observados para la masa ATÚN-P02.1, podría ser algo a considerar.

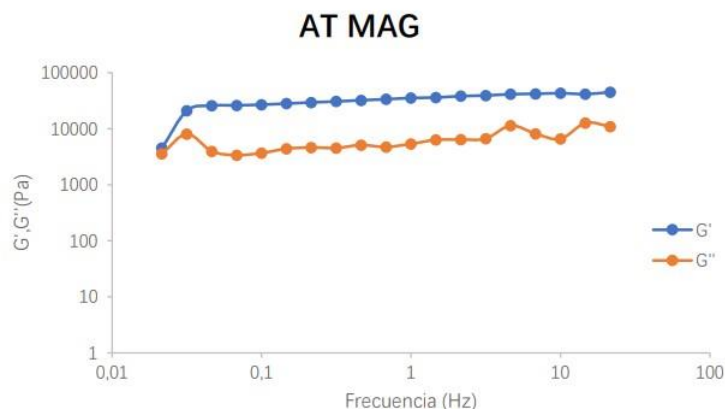


Figura 41. Barrido de frecuencias de la tinta ATÚN-P02.1+MAG.

Respecto a la caracterización microbiológica (patógenos con mayor incidencia, en concreto *Samonella* spp. y *Listeria monocytogenes*) y la caracterización en términos de macronutrientes, se muestran los resultados en la Tabla 51 y Tabla 52, respectivamente.

Tabla 51. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

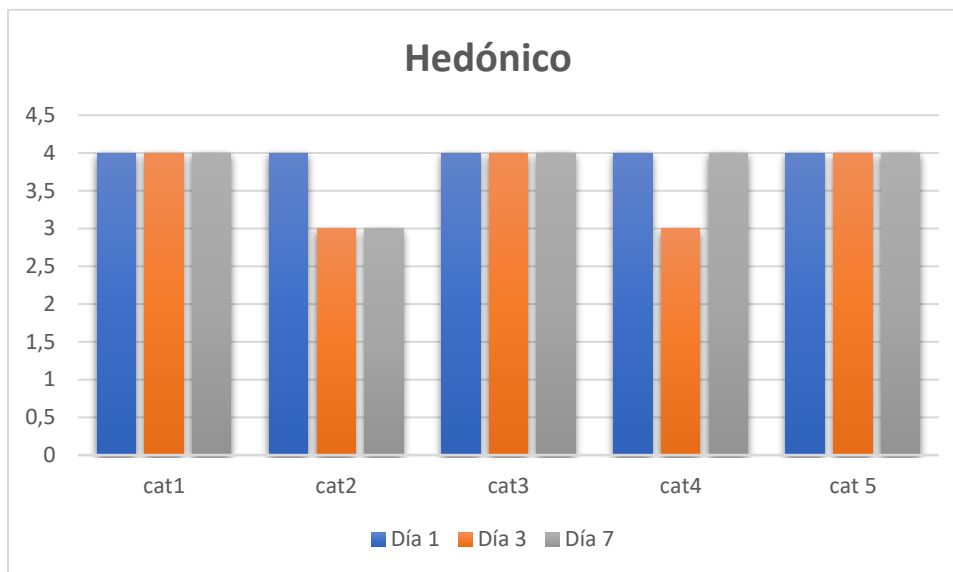
Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
Masa ATÚN-P02.1+MAG	No detectado	No detectado

Tabla 52. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
Masa ATÚN-P02.1+MAG	10,25	1,9	15,35	0,96

Además de las caracterizaciones anteriores, se llevó a cabo un análisis organoléptico hedónico de la masa ATÚN-P02.1+MAG basado en una respuesta de “me gusta” “no me gusta”. Es importante indicar que el análisis organoléptico se centró en la apariencia general, textura y palatabilidad de la forma de pirámide impresa, sin analizar atributos como el sabor, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la posibilidad de impresión de 3D de la masa alimentaria. En la Figura 42 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos. El panel de cata estuvo compuesto por 5 catadores, y se categorizó en una escala de 1 al 5, en donde 1 es “no me gusta” y 5 es “me gusta mucho”. Como se puede apreciar, la percepción de los catadores fue muy positiva, siendo la puntuación “4” la más votada.

Figura 42. Valoraciones de los catadores de la masa ATÚN-P02.1+MAG



- **Formulación ARAN-P2.2+PROB: incorporación de probiótico.**

En el caso de la masa de la masa de arándano a la que se le inoculó el probiótico *Bifidobacterium lacis*, se evaluó la concentración del inóculo para verificar la correcta distribución del mismo en la masa mediante el recuento de bifidobacterias obteniendo un resultado de un orden de magnitud de 10^9 ufc/g de muestra, acorde con la concentración inoculada.

Al ser la masa de arándano la misma que en hitos anteriores, únicamente a la que se ha inoculado un microorganismo, tanto el color, como la composición nutricional, como las características sensoriales y el comportamiento reológico no se ven afectadas.

- **Formulación ARAN-P2.2+LACTO: incorporación de lactosuero.**

En las siguientes tablas se recogen los resultados de las caracterizaciones físico-químicas (Tabla 53) y microbiológicas (

Tabla 54) obtenidas antes del proceso de impresión 3D. Cabe destacar que no se observaron cambios relevantes respecto a los obtenidos en la masa sin modificar (ver caracterización de la masa ARAN-P2.2 en el HITO 2).

Tabla 53. Resultados de la caracterización físico-química de la formulación ARAN-P2.2+LACTO

Muestra	Tiempos (días)											
	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
	L			b			pH			aw		
ARAN-P2.2+LACTO	17,04	16,92	16,55	4,16	3,75	2,99	3,6	3,6	3,5	0,95	0,95	0,95

Tabla 54. Resultados de la caracterización microbiológica

Muestra	Rto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	

ARÁN-P2.2+LACTO (día 1)	<10	<10	<10	<10	
ARÁN-P2.2+LACTO (día 3)	<10	<10	<10	<10	
ARÁN-P2.2+LACTO (día 7)	<10	<10	<10	<10	

Al igual que con la masa ATÚN-P02.1+MAG, se analizaron las propiedades reológicas de la nueva formulación (sólo en día 1). La curva de flujo se ajustó al modelo de *Herschel-Bulkley*, obteniéndose un ajuste con una $r^2 > 0.96$ (ver Figura 43). Los valores resultantes de los parámetros de interés se presentan en la Tabla 55. Estos resultados sugieren que la muestra se comportó como un sólido, no fluyendo adecuadamente bajo la acción mecánica de la sonda, resbalando esta última sobre la muestra. Este comportamiento es muy similar al presentado por la muestra sin modificar (ver en HITO 2: caracterización reológica de la masa ARAN-P2.2).

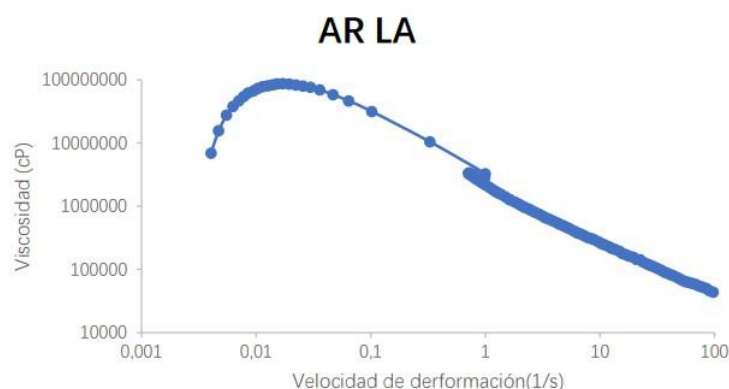


Figura 43. Curvas de flujo de la masa ATÚN-P02.1+MAG. Viscosidad vs Velocidad de deformación

Tabla 55. Parámetros de interés. K es el índice de consistencia, n el índice de flujo y τ_0 el esfuerzo de fluencia

	τ_0 (Pa)	K (Pa. s ⁿ)	n
AR LA	-1799	3992	0.07066

El barrido de esfuerzos se presenta en la Figura 44. De acuerdo con los resultados obtenidos, la muestra mostró una región viscoelástica lineal (RVL) que llegaba hasta los 4800Pa. Se puede concluir que la τ_0 para esta muestra es de, aproximadamente, 10000Pa.

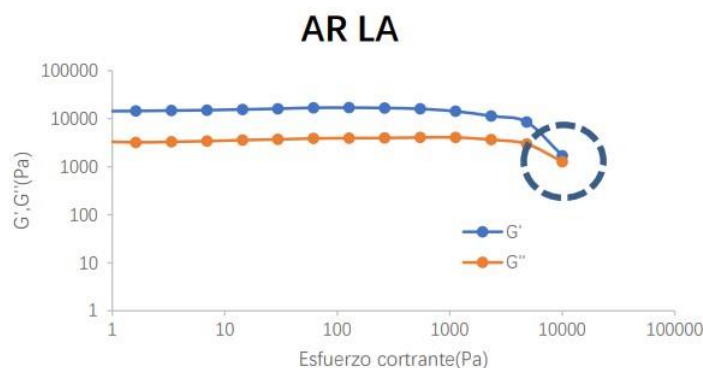


Figura 44. Barrido de esfuerzo de la masa ARAN-P2.2+LACTO. El círculo con línea discontinua señala el punto en el cual la G' y la G'' se igualan, dicho punto proyectado en el eje X se interpreta como el valor de τ_0 para la muestra analizada.

Como ya ocurrió en los casos anteriores, el barrido de frecuencia mostró un módulo elástico (G') más alto en valor que el módulo viscoso (G''), lo cual sugiere que la masa presenta una estructura más similar a la de un sólido o un gel que a la de un líquido (ver Figura 45). También se puede observar que a medida que aumenta

la frecuencia ensayada el valor de G' y G'' también aumenta, constatándose una dependencia entre estos módulos y la frecuencia aplicada, lo cual es un comportamiento característico de los materiales tipo gel.

Si comparamos estos resultados con los valores recogidos en el HITO 2 para la misma masa sin modificar (ARAN-P2.2), el barrido de frecuencias de la masa ARAN-P2.2+LACTO presentó valores de G' y G'' que fueron el doble y el triple, respectivamente, mostrando, por tanto, un alto grado de estructuración de la muestra (misma conclusión que con la masa ATÚN-P02.1+MAG). Dado que esta mayor elasticidad y viscosidad podría traducirse en una mayor dificultad a la hora de llevar a cabo la impresión 3D, la desestructuración de la muestra vía introducción de agua durante el preparado de la masa, al menos hasta reducir los niveles viscoelásticos a unos valores similares a los observados para la masa ARAN-P2.2, podría ser algo a considerar.

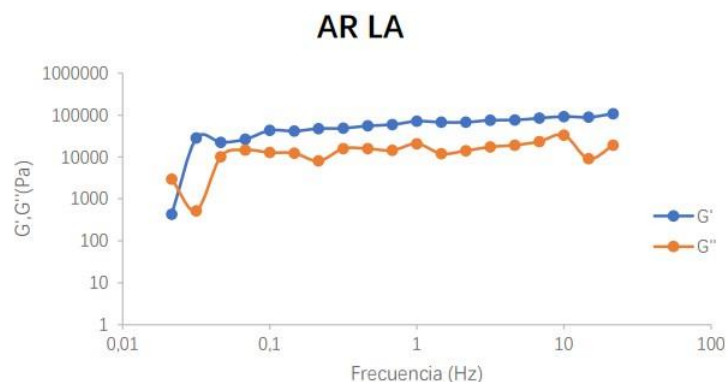


Figura 45. Barrido de frecuencias de la tinta ARAN-P2.2+LACTO.

Respecto a la caracterización microbiológica (patógenos con mayor incidencia, en concreto *Samonella* spp. y *Listeria monocytogenes*) y la caracterización en términos de macronutrientes, se muestran los resultados en la Tabla 56 y Tabla 57, respectivamente.

Tabla 56. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

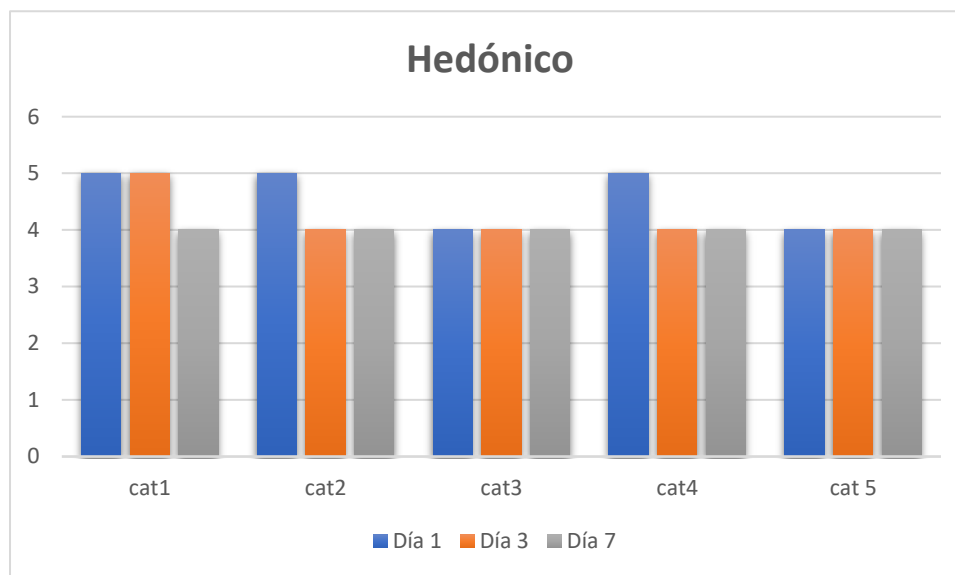
Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
Masa ARAN-P2.2+LACTO	No detectado	No detectado

Tabla 57. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
Masa ARAN-P2.2+LACTO	26,63	9,90	0,98	0,71

Además de las caracterizaciones anteriores, se llevó a cabo un análisis organoléptico hedónico de la masa ARAN-P2.2+LACTO basado en una respuesta de “me gusta” “no me gusta”. Al igual que en los casos anteriores, el análisis organoléptico se centró en la apariencia general, textura y palatabilidad de la forma de pirámide impresa, sin analizar atributos como el sabor, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la posibilidad de impresión de 3D de la masa alimentaria. En la Figura 46 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos. El panel de cata estuvo compuesto por 5 catadores, y se categorizó en una escala de 1 al 5, en donde 1 es “no me gusta” y 5 es “me gusta mucho”. Como se puede apreciar, la percepción de los catadores fue muy positiva, siendo la puntuación “4” la más votada y varios catadores puntuando con 5.

Figura 46. Valoraciones de los catadores de la masa ARAN-P2.2+LACTO



De esta forma, se realizó el correspondiente estudio de funcionalidad para poder determinar las posibles alegaciones nutricionales susceptibles de ser empleadas de acuerdo al Reglamento 1924/2006:

- MASA ATÚN-P02.1+MAG)– Alto contenido en proteína, ya que las proteínas aportan como mínimo un 20 % del valor energético
- MASA ARAN-P2.2+PROB) – Aunque el Reglamento no contempla alegación para los probióticos, de acuerdo a los estudios anteriormente comentados se alcanza un valor de 10^9 ufc/g que es el valor que recomiendan para una correcta salud intestinal e inmunológica.
- MASA ARAN-P2.2+LACTO – Bajo contenido en grasa, ya que el producto no contiene más de 3 g de grasa por 100 g

Como conclusión hay que indicar que las formulaciones seleccionadas para los trabajos contemplados en el HITO 4 son:

- Formulaciones desarrolladas a partir de la valorización de subproductos hortofrutícolas – arándano de destrío: **i) ARAN-P2.2; ii) ARAN-P2.2+PRO; iii) ARAN-P2.2+LACTO.**
- Formulaciones desarrolladas a partir de la valorización de subproductos generados en la industria conservera – atún: **i) ATÚN-P02.1; y ii) ATÚN-P02.1+MAG.**

H4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS 3D CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

El objetivo de este HITO, cuya fecha de finalización fue el 31/12/2023 (correspondiente con el mes 20 de ejecución), fue desarrollar prototipos 3D con características especiales utilizando las masas seleccionadas en el HITO anterior. Para ello, fue necesario considerar las características de los equipos de impresión 3D por extrusión e inkjet, así como optimizar los parámetros de funcionamiento de los mismos para conseguir los prototipos objetivo. Finalmente, los prototipos desarrollados fueron validados a través de una caracterización completa, tanto física (valoración de la geometría, textura y aspecto conseguido), nutricional y organoléptica.

A continuación, se describen los equipos de impresión 3D por extrusión e inkjet utilizados para el desarrollo de prototipos 3D (la impresora 3D por extrusión ya ha sido utilizada en los HITOS 2 y 3 para evaluar la procesabilidad de las masas desarrolladas).

- **Equipo de impresión 3D de alimentos mediante auto moldeo (extrusión) – modelo Procusini:** se trata de un equipo capaz de construir, capa a capa, alimentos con geometrías y texturas específicas mediante la extrusión de masas alimentarias con propiedades reológicas determinadas. A través del calentamiento del cartucho donde se almacena el producto (masa alimentaria) es capaz de trabajar en rango de temperaturas de 20°C-60°C. La superficie de trabajo tiene unas dimensiones utilizables de 150mmx250mm (área total de 375cm²) (ver imagen en Figura 47a).
- **Equipo de impresión 2D *inkjet* de alto rendimiento – modelo “Cocus food printPlus impresora av digital”:** se trata de una impresora de alimentos digital plana automática. Utiliza la tecnología de chorro de tinta (*inkjet*) para la impresión directa de tintas (colorantes alimentarios) en alimentos, en un tamaño máximo de impresión de 40cmx60cm. Dispone de un sistema de curado por luz (LED) ultravioleta refrigerado por agua y de un software de manejo *Maintop 6,0* (o PhotoPrint DX Plus) (ver imagen en Figura 47b).



(a)



(b)

Figura 47. Equipamiento utilizado: a) equipo de impresión 3D de alimentos mediante auto moldeo (extrusión); b) Equipo de impresión inkjet de alto rendimiento

A continuación, se detallan los trabajos realizados en las diferentes tareas planificadas en este HITO.

T4.1. Determinación de las características para asegurar la viabilidad del diseño y la textura buscada y T4.2. Optimización de los parámetros de proceso de la tecnología 3D de extrusión e *inkjet*.

Los trabajos correspondientes a las tareas T4.1 y T4.2, relacionados con la optimización de los parámetros de proceso y la viabilidad del diseño 3D, están muy relacionados por lo que su descripción se realiza de forma conjunta.

La primera acción fue seleccionar un diseño 3D acorde a las características de las masas desarrolladas. Tras evaluar las opciones consideradas en el HITO 1 (aparecen recogidas en la Figura 4), se optó por el diseño de hamburguesa, ya que está formado por diferentes componentes (pan, queso, hamburguesa, tomate, lechuga, etc.), lo que permite mayor versatilidad para poder utilizar las diferentes masas desarrolladas en los HITOS 2 y 3.

En la Figura 48 se muestra en diseño tipo hamburguesa elegido para el desarrollo del prototipo 3D. Como ya se comentó en el HITO 1, se utilizó un software de diseño 3D disponible online (***Tinkercad 3D*** - <https://www.tinkercad.com/>). Se trata de un software de fácil manejo y relativamente básico, ya que no

permite realizar diseños de gran complejidad. Al no ser éste el objetivo del proyecto, este software fue elegido por su sencillez y su disponibilidad.

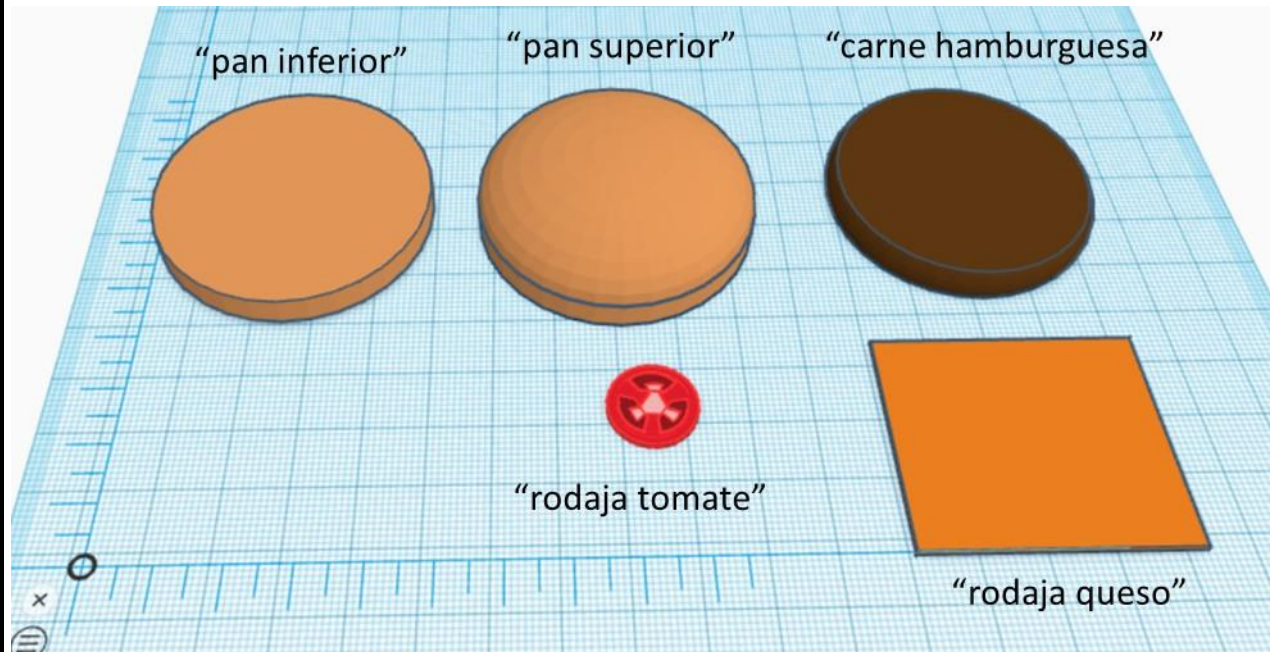


Figura 48. Diseño de los componentes de la hamburguesa (software *Tinkercad 3D*)

Una vez seleccionado el diseño general en el software *Tinkercad 3D*, cada uno de los componentes que lo conforman son exportados, de forma independiente, a un software de control para la impresión 3D (*UltiMaker-Cura-5.6.*), a través del cual podemos modificar tanto la geometría/dimensiones del objeto como los parámetros de proceso durante la extrusión 3D. En la siguiente figura se pueden ver los mismos diseños una vez exportados al software de control *UltiMaker-Cura-5.6*, en donde también se pueden apreciar las capas que conforman cada diseño.

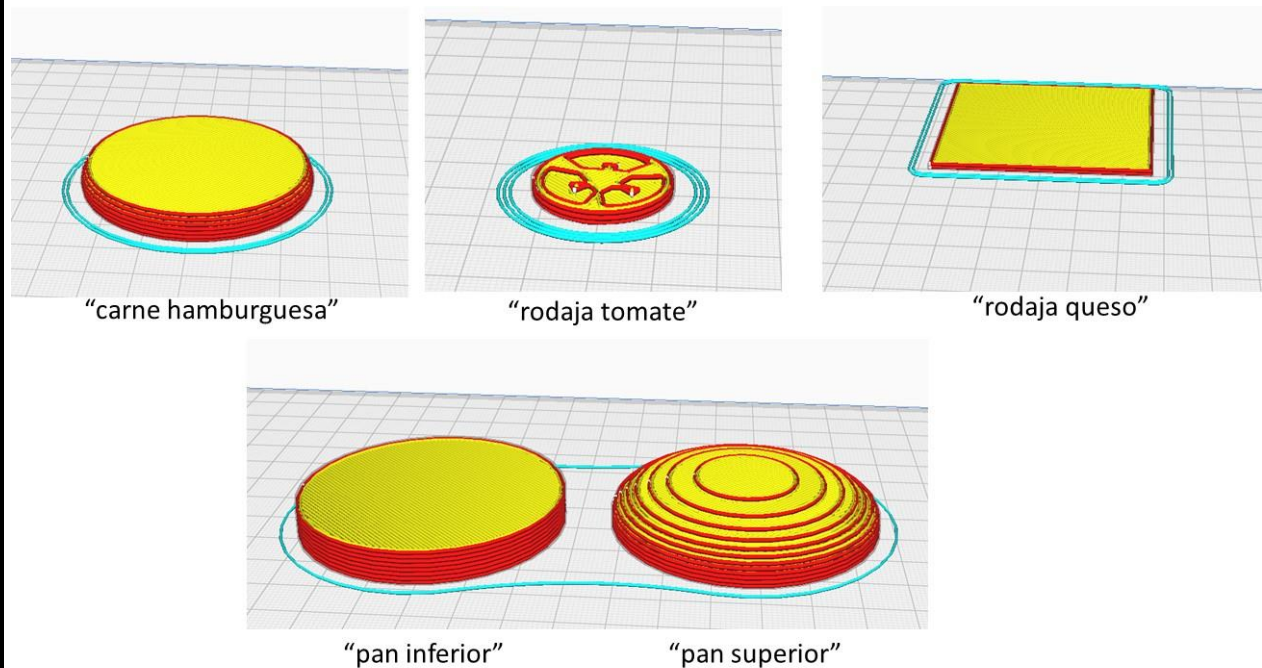


Figura 49. Diseño de los componentes de la hamburguesa (software *UltiMaker-Cura-5.6*)

Como ya se mencionó, a través del software *UltiMaker-Cura-5.6* se puede optimizar la geometría y/o dimensiones del objeto. Como se puede ver en la figura anterior, las dimensiones de todos los componentes

de la hamburguesa se redujeron con el objetivo de desarrollar un prototipo a escala 1/3 respecto al tamaño de una hamburguesa típica.

El software *UltiMaker-Cura-5.6* también fue la herramienta utilizada para llevar a cabo la optimización de los parámetros de proceso (ya definidos en el HITO 1). Esta optimización es clave para garantizar, no sólo la viabilidad del diseño 3D y la textura, sino también el tiempo de proceso necesario para imprimir el diseño 3D.

El primer parámetro a optimizar fue el de **relleno**. En el HITO 1 ya se comentó que el relleno de una figura 3D queda definido por dos parámetros:

- Patrón de relleno: patrón geométrico que sigue el relleno de la pieza. El patrón de la capa inferior y superior suele ser diferente. Hay diferentes tipos de patrón de relleno, como rejilla, cruz 3D, octeto, etc. En la Figura 51 se muestran ejemplos de patrones de relleno aplicados al modelo de “pan inferior”.
- Concentración de relleno: parámetro con el que se logra rellenar las piezas impresas, pudiendo ir desde el 0% (pieza hueca) al 100% (pieza maciza).

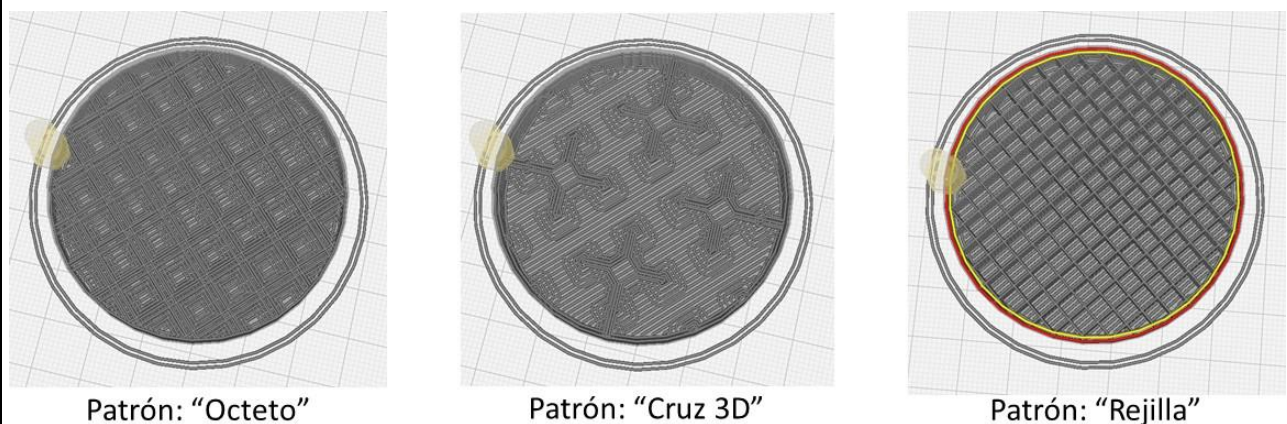


Figura 50. Ejemplos de geometrías de patrones de relleno

Se evaluaron diferentes patrones de relleno y concentraciones de relleno para identificar los valores óptimos. Dada la sencillez de las geometrías 3D objetivo (ver Figura 48 y Figura 49), se seleccionaron aquellos valores que aseguraban la viabilidad de los diseños manteniendo tiempos de proceso lo más cortos posibles. En la Figura 51 se puede ver claramente el aspecto de patrón de relleno seleccionado (tipo “Rejilla”) con una concentración del 20%.

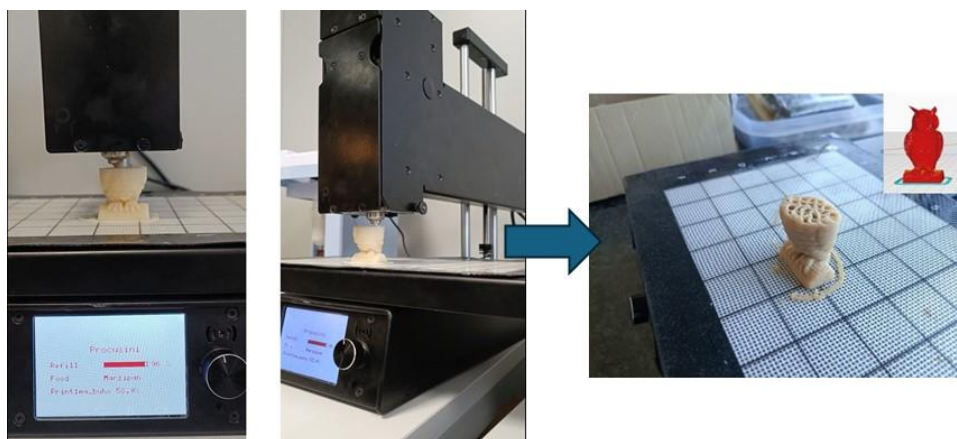


Figura 51. Aspecto del seleccionado: patrón tipo “rejilla” con concentración del 20%.

Otro de los parámetros de proceso clave es el **número de capas** de que se componen la pieza, lo que está directamente relacionado con la “**altura de capa**” seleccionada. Este parámetro también tiene un impacto directo en la viabilidad técnica del diseño, ya que cuantas más capas, mayor detalle en la impresión. Sin embargo, es necesario encontrar un valor de compromiso ya que cuantas más capas mayores tiempos de

proceso. A modo de ejemplo, en la Figura 52 se pueden observar perfectamente las capas que componen un diseño 3D.

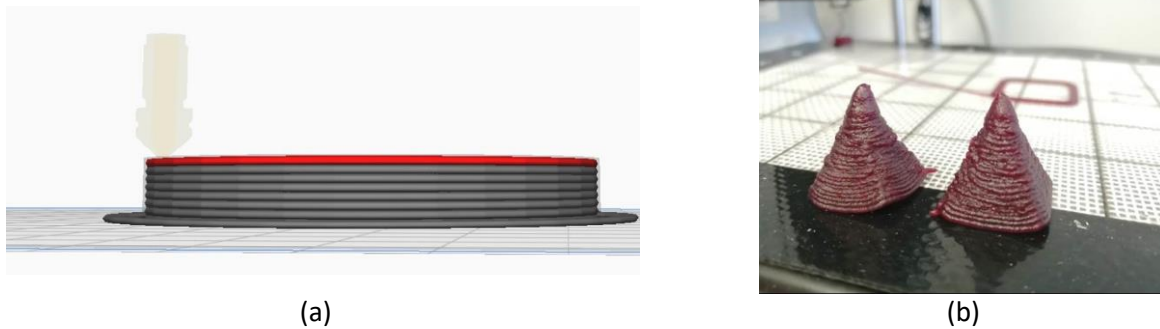


Figura 52. a) Vista de las capas en el software *UltiMaker-Cura-5.6* (“pan inferior”). b) Imagen de las capas que componen el diseño 3D de pirámide.

En la gráfica de la Figura 53 se muestra el efecto de la “altura de capa” en el tiempo de procesado. Como se puede apreciar, valores de altura de capa inferiores a 1mm aumentan de forma exponencial el tiempo de procesado, mientras que valores por encima de 1mm no afectan de forma relevante. En base a estos resultados, se seleccionó 1mm como “altura de capa”.



Figura 53. Efecto de la altura de la capa en el tiempo de procesado del diseño “pan inferior”.

Otro de los parámetros a optimizar fue el “**espesor de línea de extrusión**”, que viene definido por la anchura de la boquilla de extrusión utilizada. Se evaluó el efecto de utilizar dos boquillas con anchuras diferentes: i) 1mm; ii) 1,2mm (en el HITO 1, Figura 12d se muestra una imagen de la boquilla). Se obtuvieron resultados similares con ambas boquillas, por lo que teniendo en cuenta que el nivel de detalle exigido por el diseño 3D objetivo es bajo, se optó por utilizar la boquilla de 1,2mm en todas las pruebas.

La **temperatura** de proceso es otro factor determinante, no sólo para lograr la óptima extrusión de las masas alimentarias, sino también para asegurar la viabilidad de determinadas vitaminas o probióticos, que pueden llegar a desestabilizarse en el interior de la masa y perder esa funcionalidad por la que han sido añadidos. En los ensayos realizados durante el desarrollo y optimización de las masas alimentarias (tareas en HITO 1 y 2), la temperatura de proceso fue, en todos los casos, 50°C.

Respecto a la optimización de los parámetros de proceso de impresión 2D *inkjet* (tinta alimentaria) hay que indicar que el número de variables sobre el que actuar es mucho menor que en el caso de la impresora 3D por extrusión. En concreto, las variables principales son:

- Distancia entre el cabezal de impresión y la muestra: está estipulado que la distancia óptima para conseguir un nivel de detalle correcto debe ser inferior a los 5mm, lo que obligó a optimizar la altura del cabezal para cada una de las piezas que conforman el prototipo final. Sin embargo, para aquellos diseños 3D con paredes verticales relevantes (como el “pan inferior”, “pan superior” y “carne

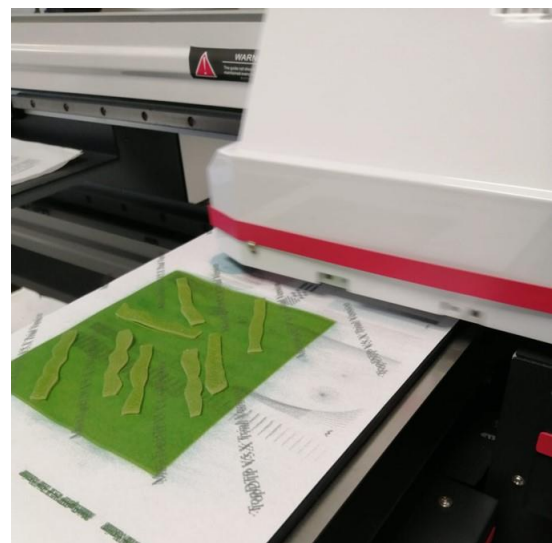
hamburguesa”), la distancia entre el cabezal de impresión y la muestra se incrementó hasta los 2-3 cm para que el chorro de tinta llegase difuminado y se imprimiera en las paredes verticales.

- Número de pasadas: en función del tipo de alimento sobre el que se imprime es necesario realizar un número determinado de pasadas para asegurar una correcta impresión. Aunque el número de pasadas de referencia es 6, tras evaluar las impresiones de prueba realizadas sobre las masas alimentarias, y teniendo en cuenta el incremento de la distancia del cabezal, se seleccionó un número de pasadas óptimo de 12.

Para comprobar el correcto estado de equipo, se ha desarrollado un diseño para imprimir (en papel) formado por una serie de colores y formas, cuya correcta impresión indica el correcto estado del equipo (ver Figura 54a). A modo de ejemplo, en la Figura 54b se muestra una imagen de las pruebas de impresión realizadas directamente sobre las masas alimentarias seleccionadas para el prototipo (en concreto, se trata del componente correspondiente a las tiras de lechuga).



(a)



(b)

Figura 54. a) Diseño de prueba para evaluación del funcionamiento del equipo de tecnología de impresión 2D *inkjet*. b) pruebas de impresión realizadas directamente sobre las masas alimentarias seleccionadas para el prototipo (en concreto, se trata del componente correspondiente a las tiras de lechuga).

T4.3. Desarrollo de los prototipos 3D mediante tecnología de extrusión y T4.4. Desarrollo de la textura visual mediante tecnología inkjet

Los trabajos correspondientes a las tareas T4.3 y T4.4, relacionados con el desarrollo de los prototipos 3D y la textura visual, están íntimamente relacionados por lo que su descripción se realiza de forma conjunta.

Como ya se explicó, el diseño 3D elegido para el desarrollo de un prototipo alimentario mediante impresión 3D fue el de una hamburguesa (ver diseño de componentes del prototipo final en Figura 48 y Figura 49). Aunque la planificación inicial del proyecto contemplaba el desarrollo de un prototipo 3D utilizando masas alimentarias procedentes de tres tipos de materias primas (subproductos del sector cárnico, pescado y hortofrutícola), los malos resultados obtenidos con la masa cárnica procedente de descartes de pollo obligó a que el prototipo final se componga de masas desarrolladas a partir de subproductos hortofrutícolas y pescado. Sin embargo, los buenos resultados en términos de funcionalización de masas obtenidos en el HITO 3 sobre las formulaciones seleccionadas en el HITO 2 ha permitido la utilización de un total de 4 masas alimentarias

para desarrollar cada uno de los componentes de que se compone el prototipo 3D final. A continuación, se indica qué masa se ha utilizado en cada componente:

- Pan superior: **ATÚN-P02.1**
- Pan inferior: **ATÚN-P02.1**
- Carne de hamburguesa: **ARAN-P2.2+LACTO**
- Tiras de lechuga (mismo diseño que “rodaja de queso”): **ARAN-P2.2+PRO**
- Rodajas de tomate: **ARAN-P2.2+PRO**
- Rodaja de queso: **ATÚN-P02.1+MAG**

Respecto a la textura visual, en solicitud se indicó que la tecnología de impresión 2D *inkjet* se aplicaría sobre soportes comestibles comerciales flexibles, que no aporten color ni sabor al prototipo final (papel de Oblea de 0.3 mm de espesor). Sin embargo, dada la sencillez de los diseños visuales requeridos por los componentes que forman el prototipo 3D, se optó por imprimir directamente en las masas alimentarias una vez extruidas.

En la Figura 55 se muestra una imagen del resultado final del prototipo tras los los procesos de impresión 3D por extrusión y 2D inkjet.





Figura 55. Prototipo final 3D

T4.5. Caracterización de los prototipos (nutricional, funcional, organoléptica, vida útil)

Finalmente, y de la misma manera que con las masas alimentarias desarrolladas a lo largo de todo el proyecto, el prototipo desarrollado se caracterizó en términos, microbiológicos, nutricionales y organolépticos.

Tabla 58. Resultados de la caracterización microbiológica después del proceso de impresión 3D

Muestra	Rcto. Aerobios mesófilos	Rcto. Enterobacterias	Rcto. BAL	Rcto. mohos y levaduras	Observaciones
	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	
PROTOTIPO FINAL 3D	4,40E+01	<10	<10	<10	

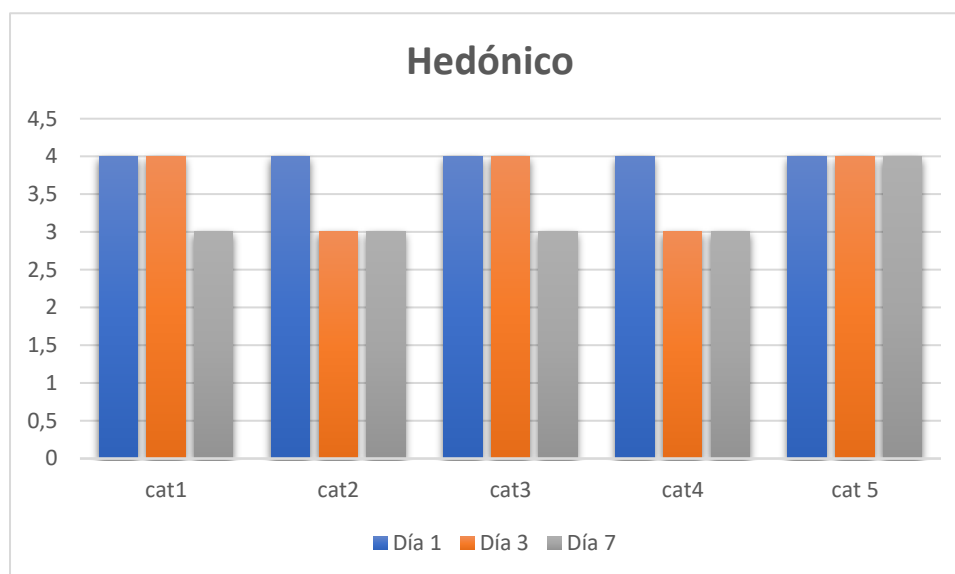
Tabla 59. Análisis microbiológico: presencia de patógenos

Muestra	Detección <i>Samonella</i>	Detección <i>L. monocytogenes</i>
	En 25 g	En 25 g
PROTOTIPO FINAL 3D	No detectado	No detectado

Tabla 60. Análisis nutricional: macronutrientes

Muestra	Hidratos de carbono	Azúcares	Proteínas	Grasas
PROTOTIPO FINAL 3D	15,45	6,70	14,56	1,23

Figura 56. Análisis organoléptico



REFERENCIAS

Jiang, H., Zheng, L., Zou, Y., Tong, Z., Han, S., & Wang, S. (2019). 3D food printing: Main components selection by considering rheological properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2335-2347.

Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., & Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923-2932.

Lee, C. P., Karyappa, R., & Hashimoto, M. (2020). 3D printing of milk-based product. *RSC Advances*, 10(50), 29821-29828.

Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S., Mantihal, S., & Zhang, M. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, 87, 413-424.

Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2018). Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 76-82.

Maldonado-Rosas, R., Tejada-Ortigoza, V., Cuan-Urquizo, E., Mendoza-Cachú, D., Morales-de La Pena, M., Alvarado-Orozco, J. M., & Campanella, O. H. (2022). Evaluation of rheology and printability of 3D printing nutritious food with complex formulations. *Additive Manufacturing*, 58, 103030.

Martínez-Monzó, J., Cárdenas, J., & García-Segovia, P. (2019). Effect of temperature on 3D printing of commercial potato puree. *Food Biophysics*, 14(3), 225-234.

Rando, P., & Ramaioli, M. (2021). Food 3D printing: Effect of heat transfer on print stability of chocolate. *Journal of Food Engineering*, 294, 110415.

R. Patidar, S. Jaglan, N. Chhikara (2018). Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*, DOI: 10.1108/NFS-01-2018-0017

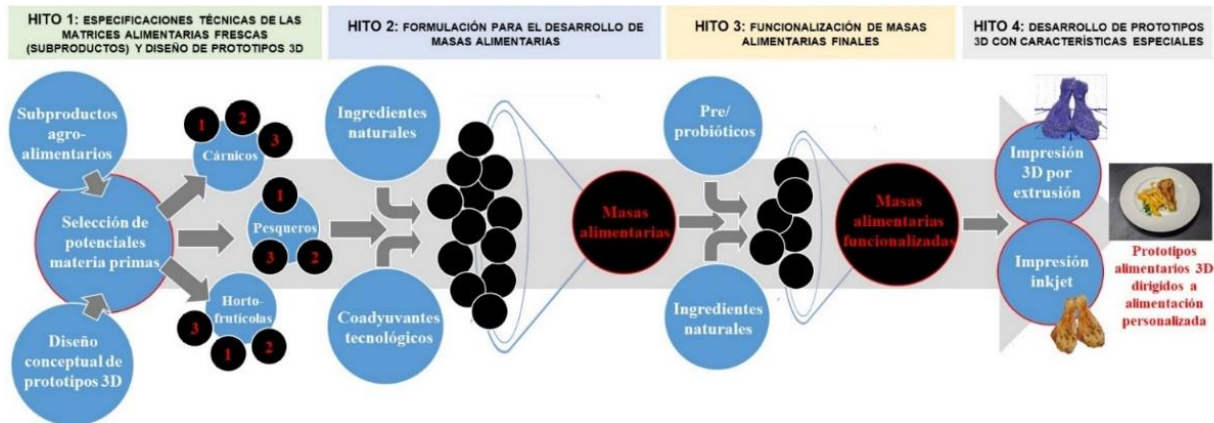
Tejada-Ortigoza, V., & Cuan-Urquizo, E. (2022). Towards the Development of 3D-Printed Food: A Rheological and Mechanical Approach. *Foods*, 11(9), 1191.

J.M. Adriá, TFM- EVALUACIÓN DE FORMULACIONES ALIMENTARIAS PARA SU IMPRESIÓN EN 3D. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA 2016.

2. HITOS ALCANZADOS. GRADO DE CUMPLIMIENTO

- 2.1 Indique los diferentes hitos alcanzados, relacionándolos con la planificación inicial del proyecto. Detalle los indicadores de seguimiento y entregables obtenidos en el periodo justificado.
- 2.2 Declare el % estimado de cumplimiento en cada uno de ellos.

A continuación, se muestra un esquema que representa la metodología general a seguir en el plan de trabajo propuesto en el proyecto 3DTEXT.



Los HITOS alcanzados, relacionándolos con las tareas planificadas en la solicitud del proyecto, son los siguientes:

H1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS MATRICES ALIMENTARIAS FRESCAS (SUBPRODUCTOS) Y DISEÑO DE PROTOTIPOS 3D

T1.1. Selección de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria

Indicador de avance: selección de subproductos para utilizar como materia prima (entre 1-3 subproductos de cada uno de los sectores considerados: cárnico, pescado y hortofrutícola).

- Grado de cumplimiento: 100%

T1.2. Estabilización y caracterización de los subproductos seleccionados

Indicador de avance: identificación de las tecnologías de higienización/estabilización de los subproductos seleccionados. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos seleccionados.

- Grado de cumplimiento: 100%

T1.3. Definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas al producto final

Indicador de avance: definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas para el tipo de productos finales objetivo.

- Grado de cumplimiento: 100%

H2. FORMULACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MASAS ALIMENTARIAS

T2.1. Formulación y evaluación de la procesabilidad de las masas alimentarias en proceso de extrusión

Indicador de avance: obtención de formulados aptos para ser utilizados como masas alimentarias en impresión 3D por extrusión (máximo de 3 formulaciones por cada tipo de materia prima).

- Grado de cumplimiento: 100%

T2.2. Selección de las masas finales: caracterización y estudio de la estabilización de las formulaciones

Indicador de avance: selección de las masas alimentarias (caracterizadas y estabilizadas) con mayor potencial para ser utilizadas en el desarrollo de prototipos 3D por extrusión

- Grado de cumplimiento: 100%

H3. FUNCIONALIZACIÓN DE MASAS ALIMENTARIAS FINALES

T3.1. Estrategias de incorporación de pre/probióticos

Indicador de avance: obtención de masas alimentarias funcionalizadas mediante la incorporación de compuestos bioactivos (pre/probióticos)

- Grado de cumplimiento: 100%

T3.2.- Incorporación de ingredientes naturales (estrategia clean-label) para mejora de las propiedades nutricionales y organolépticas

Indicador de avance: obtención de masas alimentarias funcionalizadas mediante la incorporación de ingredientes naturales (posibilidad de optar a alegaciones nutricionales y/o saludable específicas)

- Grado de cumplimiento: 100%

T3.3.- Selección de las masas finales: determinación de la procesabilidad final, caracterización nutricional y estudio de la estabilización de las formulaciones

Indicador de avance: selección de las masas alimentarias funcionalizadas con mayor potencial para ser utilizadas en el desarrollo de prototipos 3D por extrusión.

- Grado de cumplimiento: 100%

H4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS 3D CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

T4.1.- Determinación de las características para asegurar la viabilidad del diseño y la textura buscada

Indicador de avance: determinación de los parámetros de relleno (patrón y concentración) y de la configuración del sistema de impresión 3D para asegurar la viabilidad de los diseños 3D y texturas objetivo

- Grado de cumplimiento: 100%

T4.2.- Optimización de los parámetros de proceso de la tecnología 3D de extrusión e inkjet

Indicador de avance: optimización de los parámetros de proceso de la tecnología de impresión 3D por extrusión e *inkjet*

- Grado de cumplimiento: 100%

T4.3.- Desarrollo de los prototipos 3D mediante tecnología de extrusión

Indicador de avance: obtención de prototipos 3D por extrusión

- Grado de cumplimiento: 100%

T4.4. Desarrollo de la textura visual mediante tecnología inkjet

Indicador de avance: obtención de films alimentarios impresos mediante tecnología *inkjet*

- Grado de cumplimiento: 100% - aunque no se utilizaron films alimentarios, debido a que la geometría 3D de los componentes del prototipo final no lo requirió, el desarrollo de la textura y apariencia visual mediante tecnología *inkjet* se llevó a cabo en todos los componentes del prototipo 3D directamente sobre las masas alimentarias ya extruidas.

T4.5.- Caracterización de los prototipos (nutricional, funcional, organoléptica, vida útil)

Indicador de avance: prototipos 3D desarrollados mediante combinación de tecnologías de impresión 3D por extrusión e *inkjet*, y validados en cuanto a sus características físicas (geometría, textura, etc.), nutricionales, funcionales, organolépticas y de vida útil.

- Grado de cumplimiento: 100%

3. RESULTADOS CONSEGUIDOS

Enumerar brevemente, pero con claridad y precisión, los resultados obtenidos, haciendo referencia expresa a los resultados inicialmente previstos.

H1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS MATRICES ALIMENTARIAS FRESCAS (SUBPRODUCTOS) Y DISEÑO DE PROTOTIPOS 3D

T1.1. Selección de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria

Resultados inicialmente previstos:

Selección de subproductos para utilizar como materia prima (entre 1-3 subproductos de cada uno de los sectores considerados: cárnico, pescado y hortofrutícola)

Resultados conseguidos:

Se han seleccionado subproductos de cuatro subsectores:

- Hortofrutícola: i) Arándano y kiwi de destrío; ii) magaya; iii) Bio Nanocelulosa bacteriana (más conocido como “nata de coco”)
- Cárnico: descartes de pollo
- Pescado: Subproductos de la fabricación de conservas de bonito
- Lácteo: Lactosuero (parte proteica)

T1.2. Estabilización y caracterización de los subproductos seleccionados

Resultados inicialmente previstos:

Identificación de las tecnologías de higienización/estabilización de los subproductos seleccionados.

Resultados conseguidos:

Se ha estudiado la viabilidad de diferentes procesos de estabilización microbiológica (altas presiones hidrostáticas (HPP), procesos térmicos como pasteurización y esterilización, congelación, etc.) en términos de eficiencia, disponibilidad de la tecnología y factores económicos. Como resultado, se han seleccionado los siguientes procesos para asegurar la estabilización de los subproductos sin alterar (o con alteración mínima) de las propiedades nutricionales: i) congelación: por simplicidad, se ha utilizado esta técnica para preservar la materia prima durante la ejecución del proyecto; ii) tratamiento térmico: pasteurización/esterilización. Además, se ha llevado a cabo la caracterización completa de los subproductos, tanto microbiológica como físico-química.

T1.3. Definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas al producto final

Resultados inicialmente previstos:

Definición conceptual de texturas, funcionalidades y geometrías 3D adecuadas para el tipo de productos finales objetivo

Resultados conseguidos:

En esta tarea se han definido los parámetros del proceso de impresión que definen la geometría 3D. A través de estos parámetros de proceso se han definido las texturas óptimas que deben cumplir las masas alimentarias a desarrollar para asegurar su procesabilidad mediante impresión 3D por extrusión.

Para alcanzar las texturas óptimas, se han evaluado potenciales ingredientes y/o coadyuvantes tecnológicos

Se han definido geometrías 3D óptimas para cada uno de los subproductos seleccionados.

H2. FORMULACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MASAS ALIMENTARIAS

T2.1. Formulación y evaluación de la procesabilidad de las masas alimentarias en proceso de extrusión

Resultados inicialmente previstos:

Obtención de formulados aptos para ser utilizados como masas alimentarias en impresión 3D por extrusión (máximo de 3 formulaciones por cada tipo de materia prima)

Resultados conseguidos:

Se han desarrollado diferentes formulaciones a partir de subproductos alimentarios de tres subsectores diferentes:

A) HORTOFRUTÍCOLA: ARÁNDANO DE DESTRÍO:

- ARAN-P1.1: base de arándano y almidón de maíz funcional
- ARAN-P1.2: base arándano y pectina
- ARAN-P1.3: base arándano y pectina
- ARAN-P2.1: base de arándano en polvo + pectina y almidón modificado
- ARAN-P2.2: base de zumo de arándano + pectina y almidón pregelatinizado
- ARAN-P2.3: base de zumo de arándano + almidón pregelatinizado
- ARAN-P2.4: base de zumo de arándano + agar

B) PESCADO: SUBPRODUCTOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA CONSERVERA (atún):

- ATÚN-P01.1
- ATÚN-P01.2
- ATÚN-P02.1
- ATÚN-P02.2

C) CÁRNICO: SUBPRODUCTOS PROCEDENTES DEL PROCESADO DEL POLLO (descartes de pollo)

- POLLO-P01.1
- POLLO-P01.2

Cada formulación se ha caracterizado en términos de propiedades reológicas mediante la realización de curvas de flujo, barridos de esfuerzo y barridos de frecuencias.

T2.2. Selección de las masas finales: caracterización y estudio de la estabilización de las formulaciones

Resultados inicialmente previstos:

Selección de las masas alimentarias (caracterizadas y estabilizadas) con mayor potencial para ser utilizadas en el desarrollo de prototipos 3D por extrusión

Resultados conseguidos:

De las formulaciones desarrolladas en la tarea anterior, se seleccionaron aquellas con mayor potencial para su uso en impresión 3D. Para ello se llevó a cabo la caracterización físico-química, microbiológica y reológica en diferentes tiempos (días 1, 3 y 7), antes y después del proceso de impresión 3D. En concreto las caracterizaciones realizadas fueron:

Formulación	Antes de la impresión 3D	Después de la impresión 3D

	Color	pH	aw	Reológ.	Micro	Color	pH	aw	Micro.	Macronutrien.	Sensorial
ARAN-P2.2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ATÚN-P02.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
POLLO-P01.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

En base a los resultados obtenidos, se seleccionaron para el HITO 3 las formulaciones ARAN-P2.2 y ATÚN-P02.1.

HITO 3. FUNCIONALIZACIÓN DE MASAS ALIMENTARIAS FINALES

T3.1. Estrategias de incorporación de pre/probióticos

Resultados inicialmente previstos:

Obtención de masas alimentarias funcionalizadas mediante la incorporación de compuestos bioactivos (pre/probióticos)

Resultados conseguidos:

- **Incorporación de prebióticos:**

Se funcionalizó la formulación ATÚN-P02.1 mediante la incorporación de un prebiótico. Para ello se siguió la estrategia de economía circular mantenida durante todo el proyecto, seleccionando la magaya como materia prima. Se trata de un subproducto de la manzana generado durante el proceso de producción de sidra y de gran incidencia en Asturias – fórmula resultante: ATÚN-P02.1+MAG

- **Incorporación de probióticos**

Se funcionalizó la formulación ARAN-P2.2 mediante la incorporación de un probiótico. Para su protección, se encapsuló mediante tecnología spray-dryer – fórmula resultante: ARAN-P2.2+PROB

T3.2. Incorporación de ingredientes naturales (estrategia *clean-label*) para mejora de las propiedades nutricionales y organolépticas

Resultados inicialmente previstos:

Obtención de masas alimentarias funcionalizadas mediante la incorporación de ingredientes naturales (posibilidad de optar a alegaciones nutricionales y/o saludable específicas)

Resultados conseguidos:

Al ser la magaya un subproducto natural nutricionalmente rico, la fórmula ATÚN-P02.1+MAG constituye un ejemplo de masa alimentaria funcionalizada mediante la incorporación de ingrediente natural.

Además, se seleccionó la fórmula ATÚN-P02.1 para la incorporación de otro ingrediente natural. Para ello se evaluó el potencial del LACTOSUERO. Se trata de un subproducto generado en grandes cantidades durante la fabricación de queso y de alto valor nutritivo, aunque constituye también uno de los principales efluentes que más contaminación provoca debido a su elevada carga orgánica. Fórmula resultante: ARAN-P2.2+LACTO

T3.3. Selección de las masas finales: determinación de la procesabilidad final, caracterización nutricional y estudio de la estabilización de las formulaciones

Resultados inicialmente previstos:

Selección de las masas alimentarias funcionalizadas con mayor potencial para ser utilizadas en el desarrollo de prototipos 3D por extrusión

Resultados conseguidos:

Para alcanzar el resultado previsto se llevó a cabo la caracterización físico-química, microbiológica y reológica de las masas funcionalizadas. En concreto las caracterizaciones realizadas fueron:

Formulación	Color	pH	aw	Reológ.	Micro.	Viabilidad probiótico	Macronutrien.	Sensorial
ATÚN-P02.1+MAG	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
ARAN-P2.2+PROB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ARAN-P2.2+LACTO	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓

En base a los resultados obtenidos, se seleccionaron para el HITO 4 las formulaciones ATÚN-P02.1+MAG, ARAN-P2.2+PROB y ARAN-P2.2+LACTO.

H4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS 3D CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

T4.1. Determinación de las características para asegurar la viabilidad del diseño y la textura buscada

Resultados inicialmente previstos:

Determinación de los parámetros de relleno (patrón y concentración) y de la configuración del sistema de impresión 3D para asegurar la viabilidad de los diseños 3D y texturas objetivo

Resultados conseguidos:

Se seleccionó el diseño 3D del prototipo final, formado por diferentes componentes: i) Pan superior; ii) pan inferior; iii) carne de hamburguesa; iv) tiras de lechuga (mismo diseño que “rodaja de queso”); v) rodajas de tomate; y vi) rodaja de queso.

Se optimizaron los parámetros de relleno (patrón de relleno y concentración de relleno) y la configuración del sistema de impresión 3D

T4.2. Optimización de los parámetros de proceso de la tecnología 3D de extrusión e inkjet.

Resultados inicialmente previstos:

Optimización de los parámetros de proceso de la tecnología de impresión 3D por extrusión e inkjet

Resultados conseguidos:

Se optimizaron los parámetros de proceso de las impresoras 3D por extrusión e inkjet: altura de capa, número de capas, temperatura de proceso, altura del cabezal de chorro de tinta, etc.

T4.3. Desarrollo de los prototipos 3D mediante tecnología de extrusión

Resultados inicialmente previstos:

Obtención de prototipos 3D por extrusión

Resultados conseguidos:

Se obtuvo el prototipo 3D formado por todos sus componentes, utilizando las siguientes formulaciones:

- Pan superior: **ATÚN-P02.1**
- Pan inferior: **ATÚN-P02.1**
- Carne de hamburguesa: **ARAN-P2.2+LACTO**
- Tiras de lechuga (mismo diseño que “rodaja de queso”): **ARAN-P2.2+PRO**
- Rodajas de tomate: **ARAN-P2.2+PRO**
- Rodaja de queso: **ATÚN-P02.1+MAG**

T4.4. Desarrollo de la textura visual mediante tecnología inkjet

Resultados inicialmente previstos:

Obtención de films alimentarios mediante tecnología *inkjet*

Resultados conseguidos:

Dada la geometría del prototipo, la tecnología *inkjet* se aplicó directamente sobre las masas alimentarias ya extruidas, por lo que no hizo falta utilizar films comestibles.

T4.5. Caracterización de los prototipos (nutricional, funcional, organoléptica, vida útil)

Resultados inicialmente previstos:

Prototipos 3D desarrollados mediante combinación de tecnologías de impresión 3D por extrusión e inkjet, y validados en cuanto a sus características físicas (geometría, textura, etc.), nutricionales, funcionales, organolépticas y de vida útil

Resultados conseguidos:

Desarrollo de un prototipo 3D formado por diferentes subprototipos, caracterizado en términos nutricionales, sensoriales, etc.



4. RESULTADOS PREVISTOS NO CONSEGUIDOS

Indique y explique las causas.

No aplica