





## RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL

### DATOS DEL/ DE LA DOCTORANDO/A:

Apellidos y nombre: Díaz Amores, Isabel			
Dirección a efectos de notificaciones: [REDACTED]			
Teléfono: [REDACTED]		EMAIL: [REDACTED]	
ORCID: 0000-0003-3621-787X		<a href="#">Compruebe/Obtenga su ORCID a través de la BUH</a>	
Según formato: 0000-0000-0000-0000			

### DATOS DE LA TESIS DOCTORAL:

Título: 3D printing of hydrogels and thickened fluids for dysphagia management: in situ mixing and gelling	
Programa Oficial de Doctorado al que se adscribe: Doctorado en Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental	
Departamento: Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales	
Director/es: Dr./Dra.: Crispulo Gallegos Montes  ORCID: 0000-0003-1479-3286 Dr./Dra.: Inmaculada Martínez García  ORCID: 0000-0003-0751-5456	
Resumen en <b>castellano</b> que será usado para la base de datos del Ministerio TESEO ( <b>máx. 4000 caracteres</b> )	
<p>Esta tesis se centra en el desarrollo de nuevas tecnologías para la impresión 3D de alimentos y, más específicamente, para alimentos con propiedades reológicas controladas para su uso como productos orientados a la disfagia.</p> <p>La primera parte de este trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema novedoso de impresión 3D para la obtención de hidrogeles. Se describe un procedimiento de gelificación in situ inducida por un cambio de temperatura para la impresión en 3D de dispersiones acuosas de <math>\kappa</math>-carragenato. La impresora 3D fue modificada para permitir la alimentación de fluidos de baja viscosidad y enfriar la capa impresa de forma más eficiente empleando un sistema de convección forzada. Las muestras de gel así obtenidas mostraron capacidad de sustentación de las capas impresas y una respuesta reológica comparable a la de un gel de referencia preparado convencionalmente. Además, se analizó el efecto de las principales variables de impresión, como la temperatura del hotend, la velocidad de impresión y la altura de la capa, en la respuesta viscoelástica lineal de los geles mediante la aplicación de la metodología de las superficies de respuesta (RSM). En general, la estructuración del gel aumenta linealmente al disminuir la velocidad de impresión y la altura de la capa. El aumento de la temperatura del hotend, hasta un valor máximo, también favorece la estructura de la red del gel. Sobre la base de los resultados obtenidos en este análisis, se propone un método de optimización para reducir al mínimo la temperatura y el tiempo necesarios para imprimir en 3D un gel con propiedades reológicas preestablecidas. En general, este estudio demuestra que es posible generar in situ materiales de gel impresos en 3D con posibles usos en alimentación y fármaco-nutrición, sin la ayuda de aditivos o iniciadores.</p> <p>Se ha diseñado y fabricado un dispositivo único adaptado a una impresora 3D que permite alimentar en continuo y mezclar in situ sólidos y líquidos para la producción de geles y fluidos espesados. En particular, se estudió la capacidad de este accesorio para mezclar correctamente un espesante en polvo comercial orientado a la disfagia con varios fluidos convencionales (agua, zumo y leche). Se definieron las concentraciones objetivo del espesante para lograr mezclas con viscosidades correspondientes a las texturas establecidas por el National Dysphagia Diet Task Force (NDD) —tipo néctar, miel y pudding— para los fluidos espesados. Se evaluó tanto la exactitud del contenido de sólidos como la respuesta reológica de las mezclas obtenidas. Aunque se observaron fluctuaciones en las concentraciones de las mezclas obtenidas por mezcla continua con respecto a los valores objetivo, las viscosidades obtenidas estaban dentro de los límites establecidos para cada una de las texturas deseadas. Los fluidos espesados procesados con el accesorio de mezcla para impresión en 3D mostraron viscosidades muy similares a las de sus homólogos mezclados a mano y un mayor grado de estructuración, especialmente cuando se imprimían a bajas velocidades, así como una menor cantidad de aire atrapado.</p> <p>En base a los resultados obtenidos, se pretende y se espera que estos métodos alternativos de preparación permitan la producción de geles y fluidos espesados con formas y colores más atractivos para el tratamiento de la disfagia a largo plazo, mejorando la calidad de vida de los pacientes con disfagia y promoviendo el cumplimiento del tratamiento.</p>	



This thesis focuses on the development of new technologies for 3D food printing. Specifically, for foods with controlled rheological properties for use as dysphagia-oriented products.

The first part of this work aims to develop a 3D printing system with gelification. It reports a successful 3D printing-based in situ temperature-induced gelification procedure of  $\kappa$ -carrageenan aqueous dispersions. 3D printer was modified to handle low viscosity fluid feeding and more efficiently distribute ambient air at room temperature causing forced convection to accelerate the cooling of the printed layer. Thus obtained gel samples showed self-sustaining capability and a rheological response comparable with a reference conventionally prepared gel. Moreover, the effect of main printing variables, such as temperature of the hotend, printing speed and layer height, on the linear viscoelastic response of the gels was analysed by application of the response surface methodology (RSM). In general, gel strength linearly increases by decreasing printing speed and layer height. A rise in the temperature of the hotend also increases the strength of the gel network, but only to a certain extent, above which not noticeable improvement in this regard was achieved. Based on the results obtained from this analysis, an optimisation method is proposed to minimise the temperature and time needed to 3D print a gel with pre-set rheological properties. Overall, this study demonstrates that it is possible to generate in situ 3D printed gel materials with potential uses in food and pharmaco-nutrition, without the aid of reactive additives or initiators, and using a facile protocol.

After that, the design, implementation and evaluation of an accessory designed and manufactured to be adapted to a 3D printer to allow the in situ and continuous mixing of solid and liquid feeds is also described. In particular, the capacity of this accessory to correctly mix a dysphagia-oriented commercial powder thickener with several conventional fluids (i.e. water, juice, and milk) was studied. Target thickener concentrations were defined in order to achieve mixtures with viscosities corresponding to the textures established by the National Dysphagia Diet Task Force (NDD) —nectar-like, honey-like, and spoon-thick— for thickened fluids. Both the accuracy of the solid content and the rheological response of the obtained mixtures were evaluated. Although fluctuations were observed in the concentrations of the mixtures obtained by continuous mixing with respect to the target values, the viscosities obtained were within the limits established for each of the desired textures. The thickened fluids processed using the 3D printing mixing accessory showed viscosities very similar to their hand-mixed counterparts and a higher degree of structuration, especially when printed at low mass flow rates, as well as a lower amount of entrapped air.

It is therefore intended and expected that these alternative methods of preparation allow the personalised production of gels and thickened fluids with more appealing shapes and colours for the long-term dysphagia management, improving the quality of life of patients with dysphagia, and promoting treatment compliance.

Palabras claves en **castellano** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

Impresión 3D, disfagia, reología, gelificación, espesamiento

Palabras claves en **inglés** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

3D printing, dysphagia, rheology, gelling, thickening

Materias UNESCO (seleccione, picando en [+], alguno de los campos, disciplinas o subdisciplinas que aparecen en la siguiente url: <http://rabida.uhu.es/dspace/page/unesco>)

3303 Ingeniería y Tecnología Químicas

**¿TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES?**



NO (tachar lo que no proceda)

Algunas publicaciones, por respeto a los posibles conflictos de propiedad intelectual relativos a su difusión, serán sustituidas por referencia, resumen y DOI o enlace al artículo.

En Huelva, 25 de enero de 2021

Firma del interesado

Fdo. Isabel Díaz Amores