

**IMPRESIÓN 3D DE EMULSIONES DE PROTEÍNAS VEGETALES**

Carolina Herrera-Lavados<sup>1</sup>, Daniela Rivero<sup>2</sup>, Anais Palma-Acevedo<sup>1</sup>, Gipsy Tabilo-Munizaga<sup>1</sup>, Mario Perez-Won<sup>1</sup>

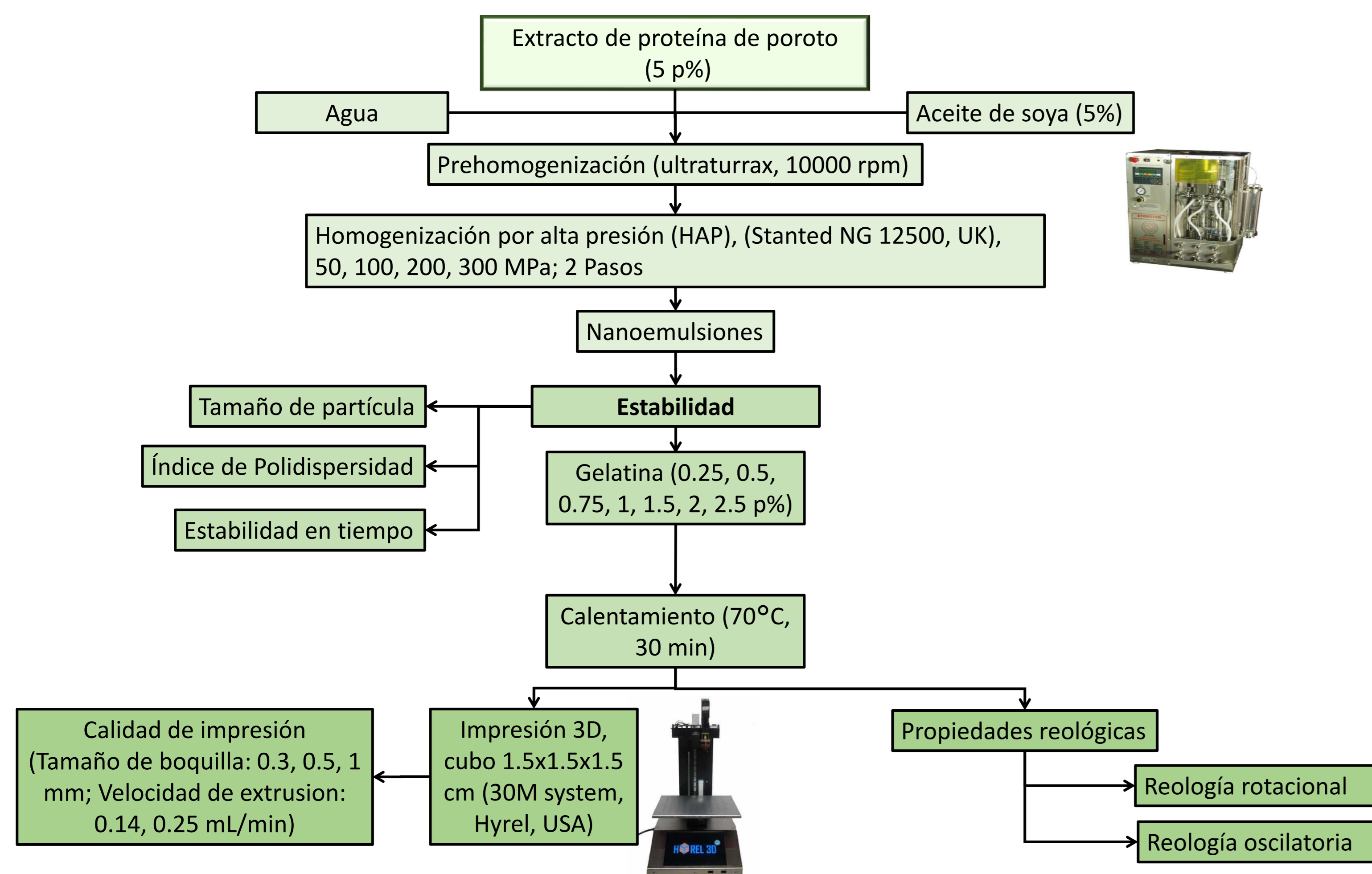
<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Bío-Bío, Av. Andrés Bello 720, Chillán, Chile. Email: [carolina.phl@gmail.com](mailto:carolina.phl@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Santiago de Chile, Obispo Manuel Umaña 50, Santiago, Chile.

**RESUMEN**

Las proteínas vegetales permiten otorgar funcionalidad a diferentes sistemas alimenticios, siendo una fuente de proteínas nutritiva y de bajo costo. Su uso en impresión 3D abre la posibilidad de personalizar el contenido nutricional y textura, estructurando nuevos productos con nuevas fuentes de proteínas. Se estudió el efecto de 5 concentraciones de gelatina en la calidad de impresión de emulsiones estables de 5% proteína de poroto, analizando sus propiedades reológicas y los parámetros de impresión tamaño de boquilla (0.3-1 mm) y velocidad de extrusión (0.15-0.24 mL/min). Se obtuvieron emulsiones estables mediante homogenización por alta presión evaluando el efecto de diferentes niveles de presión (50-300 MPa) en su estabilidad a través de propiedades fisicoquímicas. El tamaño y polidispersidad de las emulsiones fue <200 nm y <0.25, respectivamente, al utilizar presiones >200 MPa. La emulsión más estable (homogenizada a 200 MPa) fue utilizada para impresión 3D con la incorporación de gelatina (0-2.5%). La concentración de gelificación fue de 0.75% de gelatina, sin embargo, los geles emulsionados no fueron autosostenibles a concentraciones de gelatina <1.5%. Los geles imprimibles tuvieron propiedades viscoelásticas con  $G' > 300$  Pa y  $G' > G''$  a todas las frecuencias, además fueron estables por >14 días sin mostrar pérdida de agua/aceite ni separación de fases. Las mejores condiciones de impresión fueron 2.5% de gelatina, tamaño de boquilla de 0.5 mm y velocidad de extrusión de 0.24 mL/min. En conclusión, emulsiones estables de proteína vegetal pueden ser usadas para impresión 3D, lo que permitiría diseñar sistemas alimenticios coloidales con texturas y propiedades nutricionales personalizadas.

**MATERIALES & MÉTODOS**



**3) Impresión 3D**

Velocidad de extrusión	0.15 mL/min			0.24 mL/min			
	Tamaño de boquilla	0.3 mm	0.5 mm	1 mm	0.3 mm	0.5 mm	1 mm
Concentración de gelatina (% g/mL)	1%						
	1.5%						
	2%						
	2.5%						

Figura 3: efecto de la concentración de gelatina, tamaño de boquilla y velocidad de extrusión en la calidad de impresión 3D de geles emulsionados de proteína de poroto.

**RESULTADOS**

**1) Estabilidad de emulsión**

La estabilidad de las emulsiones fue evaluada en términos de tamaño de partícula, índice de polidispersidad (Pdl) (Figura 1a) y estabilidad en el tiempo (Figura 1b). El aumento en la presión de homogenización disminuyó tanto el tamaño de partícula como el Pdl, obteniendo valores de tamaño <200 nm y Pdl <0.25 al utilizar presiones  $\geq 200$  MPa. Las emulsiones no tratadas por HAP se desestabilizaron en el día 1 presentando cremación y separación de fases; las emulsiones tratadas por HAP presentaron estabilidad por más de 10 días, llegando a 25 días en el caso de las homogenizadas a 200 y 300 MPa. No hubo diferencia significativa en el tamaño de partícula ni en el Pdl al aplicar 200 y 300 MPa, por lo que el tratamiento de 200 MPa fue escogido para homogenizar las emulsiones a ser impresas en 3D.

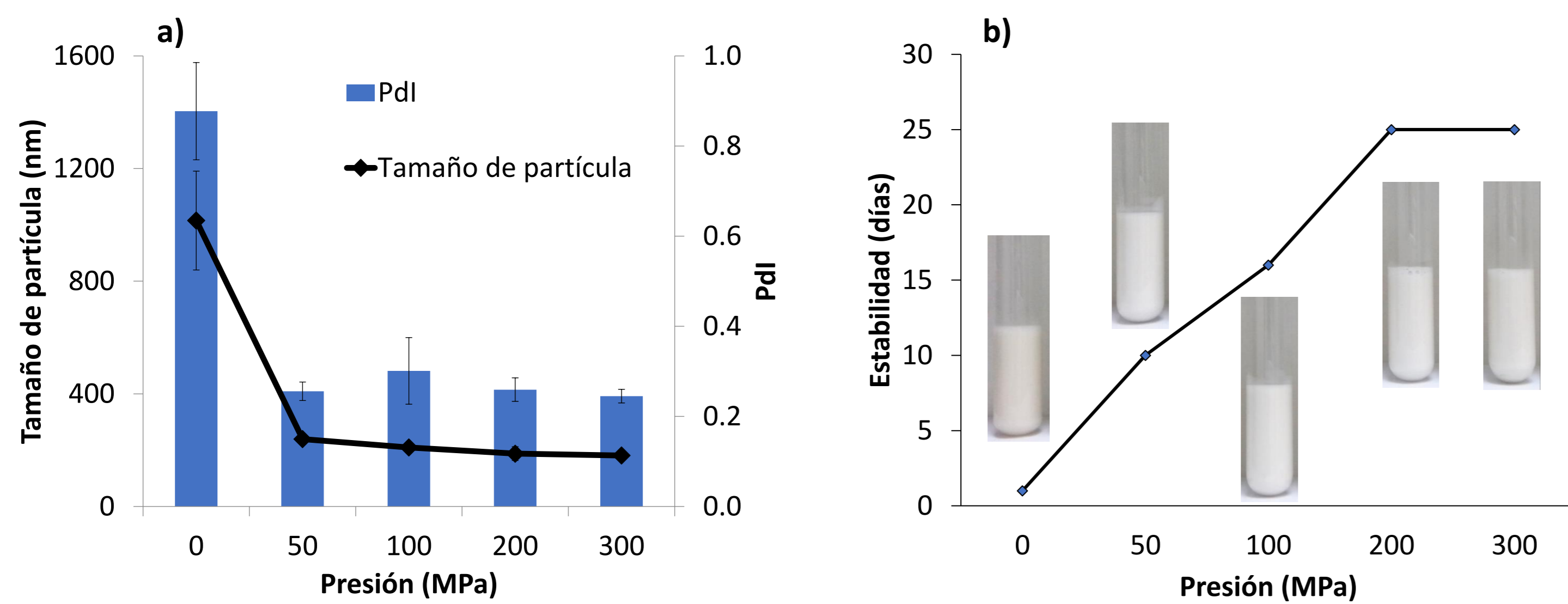


Figura 1: Estabilidad de emulsiones de proteína de poroto. A) Efecto de la presión en el tamaño de partícula e índice de polidispersidad (Pdl); b) efecto de la presión en la estabilidad en el tiempo de las emulsiones y apariencia en el día de desestabilización.

**2) Concentración de gelificación**

La emulsión homogenizada a 200 MPa fue gelificada mediante la adición de gelatina porcina. La determinación de la concentración de gelificación se realizó mediante curvas de flujo y reología oscilatoria. Las emulsiones con concentraciones de gelatina menores a 0.5% no presentaron propiedades viscoelásticas (Figura 3), lo cual fue corroborado por el ajuste de las curvas al modelo de Newton (ajuste >0.95 para concentraciones de 0 y 0.25 % de gelatina). La concentración de gelificación para las emulsiones fue de 0.75% de gelatina, punto en el cual el valor del módulo de almacenamiento  $G'$  supera al módulo de pérdida  $G''$  (Figura 4) y la estructura de la emulsión se convierte en un gel. La estructura tipo gel es necesaria para las tintas de impresión 3D con el fin de que el material sea autosostenible una vez impreso.

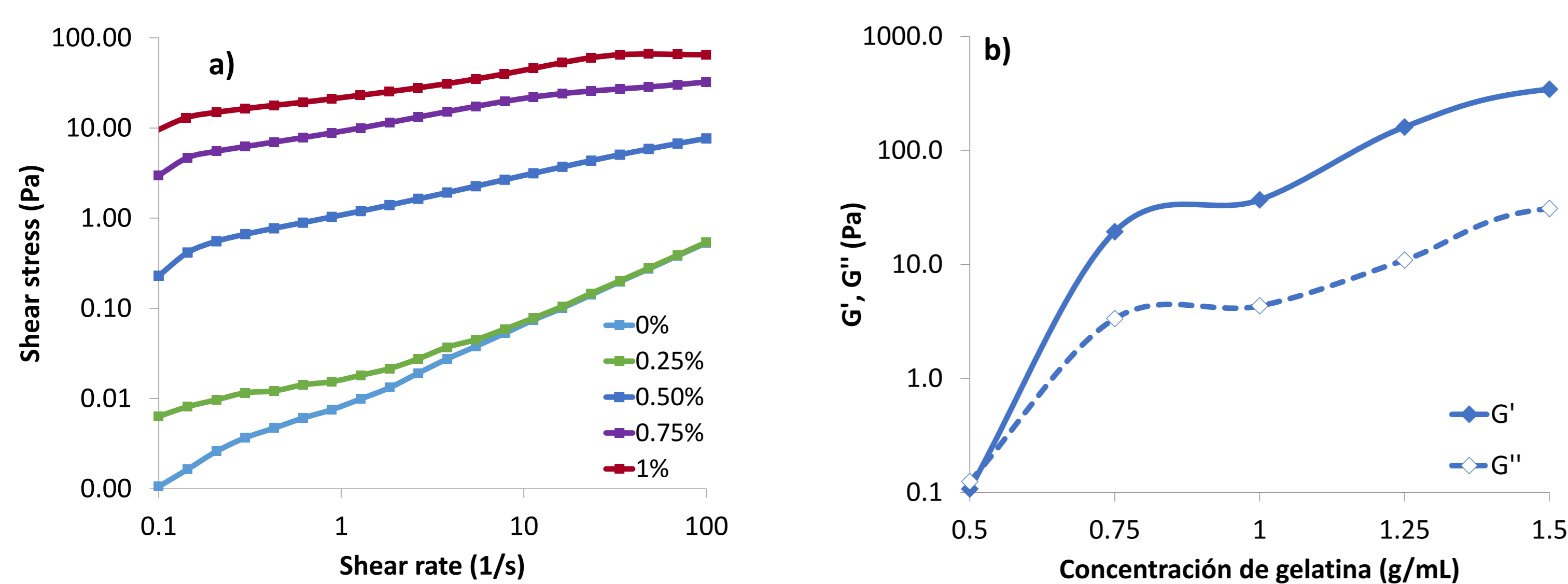


Figura 2: Determinación de concentración de gelificación de emulsiones de poroto. a) curvas de flujo de emulsiones con diferentes concentraciones de gelatina (0 – 1%); b) parámetros viscoelásticos  $G'$  y  $G''$  de emulsiones con concentraciones de gelatina de 0.5 - 1.5%

Todos los geles emulsionados generados fueron extruibles en la impresora 3D. Los geles emulsionados con concentración de gelatina menor a 1.5%, a pesar de tener estructura de geles con  $G' > G''$ , carecen de la autosostenibilidad necesaria para ser utilizados en impresión 3D, colapsando el modelo una vez impreso (Figura 3). Esta baja sostenibilidad tiene relación con el bajo valor de  $G'$  (<70 Pa) para estos geles en todo el rango de frecuencia analizado (Figura 4). Los geles con concentración de gelatina  $\geq 1.5\%$  presentaron adecuada autosostenibilidad dada por un  $G' > 300$  Pa, valor que aumentó progresivamente con el aumento en el contenido de gelatina del gel emulsionado (Figura 4), lo que responde a un aumento de las fuerzas inter e intramoleculares en el sistema (Liu et al, 2020). La calidad de impresión de los aumentó con el aumento en la concentración de gelatina, consiguiendo impresiones más fidedignas al diseño original de impresión 3D. Esto se observa en la deformación en la base de los cubos, mostrando mayor estabilidad dimensional al utilizar concentraciones de gelatina >2%.

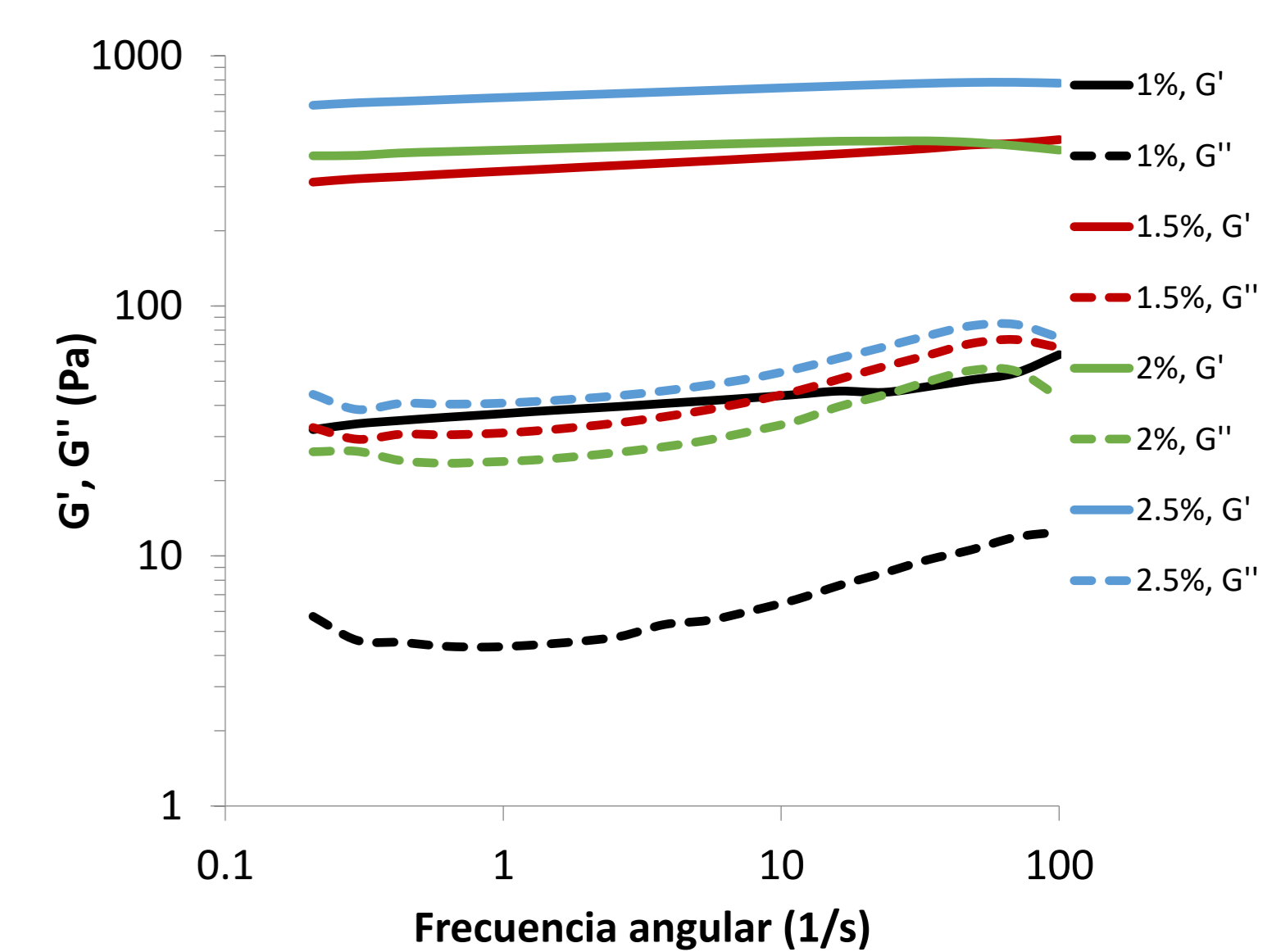


Figura 4: Efecto de la concentración de gelatina en los parámetros viscoelásticos módulo de almacenamiento  $G'$  y módulo de pérdida  $G''$  de geles emulsionados de proteína de poroto.

Al evaluar los parámetros de impresión se observó que una baja velocidad de extrusión (0.15 mL/min) causó zonas de vacío en el interior del cubo provocando el colapso de este sobre sí mismo, especialmente al utilizar bajas concentraciones de gelatina (Figura 3), mientras que el uso de una velocidad de 0.24 mL/min permitió un adecuado relleno del cubo. El efecto del tamaño de boquilla se hizo más evidente a bajas concentraciones de gelatina donde el uso de la boquilla de 1 mm causó líneas más gruesas y menos precisas en la impresión. La precisión del modelo aumentó con la disminución del tamaño de boquilla, sin embargo a altas concentraciones de gelatina (2.5%) no hubo una diferencia significativa entre las boquillas de 0.3 y 0.5 mm. Utilizar boquillas más pequeñas generalmente mejora la precisión del modelo impreso (Liu et al, 2019), pero esta mejora aumenta considerablemente el tiempo de impresión pudiendo dificultar el uso habitual de la impresión 3D.

**CONCLUSIÓN**

Los geles emulsionados en base a proteína de poroto pueden ser utilizados como una tinta comestible en el proceso de impresión 3D, donde la calidad del modelo impreso depende tanto de la concentración de gelificante utilizado como de los parámetros de impresión. El uso de estas proteínas en impresión 3D permitiría diseñar nuevos sistemas alimenticios con propiedades texturales y nutricionales personalizadas para seguir las tendencias actuales de alimentación.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado por  
- Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo / Subdirección de Capital Humano / Beca Doctorado Nacional 21200864  
- FONDECYT 1161531/CONICYT

**REFERENCIAS**

• Liu et al (2019) 3D Printing Complex Egg White Protein Objects: Properties and Optimization. Food and Bioprocess Technology (2019) 12:267–279  
• Liu et al (2020) Optimization of the Formulation and Properties of 3D-Printed Complex Egg White Protein Objects. Foods 9: 164 (doi:10.3390/foods9020164)

