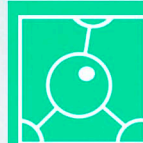


3D

Funcionalización de Polímeros (FUPOL) group



Biotintas de alginato para impresión 3D: efecto de la estructura en sus propiedades reológicas

Autores: Jorge Mercado^{1,3}, Adrián Esteban-Arranz^{1,3}, Alejandro Hernández-Sosa^{1,3}, Amparo López-Rubio^{2,3*}, Hylenne Bojorges^{2,3}, María José Fabra^{2,3}, Antonio Martínez-Abad^{2,3}, Rebeca Hernández^{1,3*}

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, ICTP-CSIC, c/ Juan de la Cierva, 3, 28006 Madrid, España.

² Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, IATA-CSIC, Avda. Agustín Escardino, 7, 46980 Paterna, Valencia, España.

³ Interdisciplinary Platform for sustainable plastics towards a circular economy-Spanish National Research Council (SUSPLAST-CSIC), Madrid, Spain

*amparo.lopez@iata.csic.es

rhernandez@ictp.csic.es

Resumen

El alginato es un polímero de origen natural que gelifica rápidamente a temperatura ambiente en presencia de cationes divalentes, ampliamente utilizado en impresión 3D por extrusión. En este trabajo se emplearon tres alginatos con diferentes características estructurales, uno comercial y dos extraídos en el laboratorio para la preparación de biotintas de alginato. Para la preparación de las biotintas, se entrecruzaron los alginatos con diferentes concentraciones de cloruro cálcico.

Los resultados obtenidos mediante pruebas de vial invertido y medidas de flujo mostraron que el alginato con relación menor M/G dio lugar a biotintas con mayores valores de viscosidad a menores concentraciones de cloruro cálcico. Este trabajo pretende demostrar la gran influencia que la estructura del alginato tiene sobre la preparación de biotintas que puedan ser utilizadas para la producción de andamios por impresión 3D.

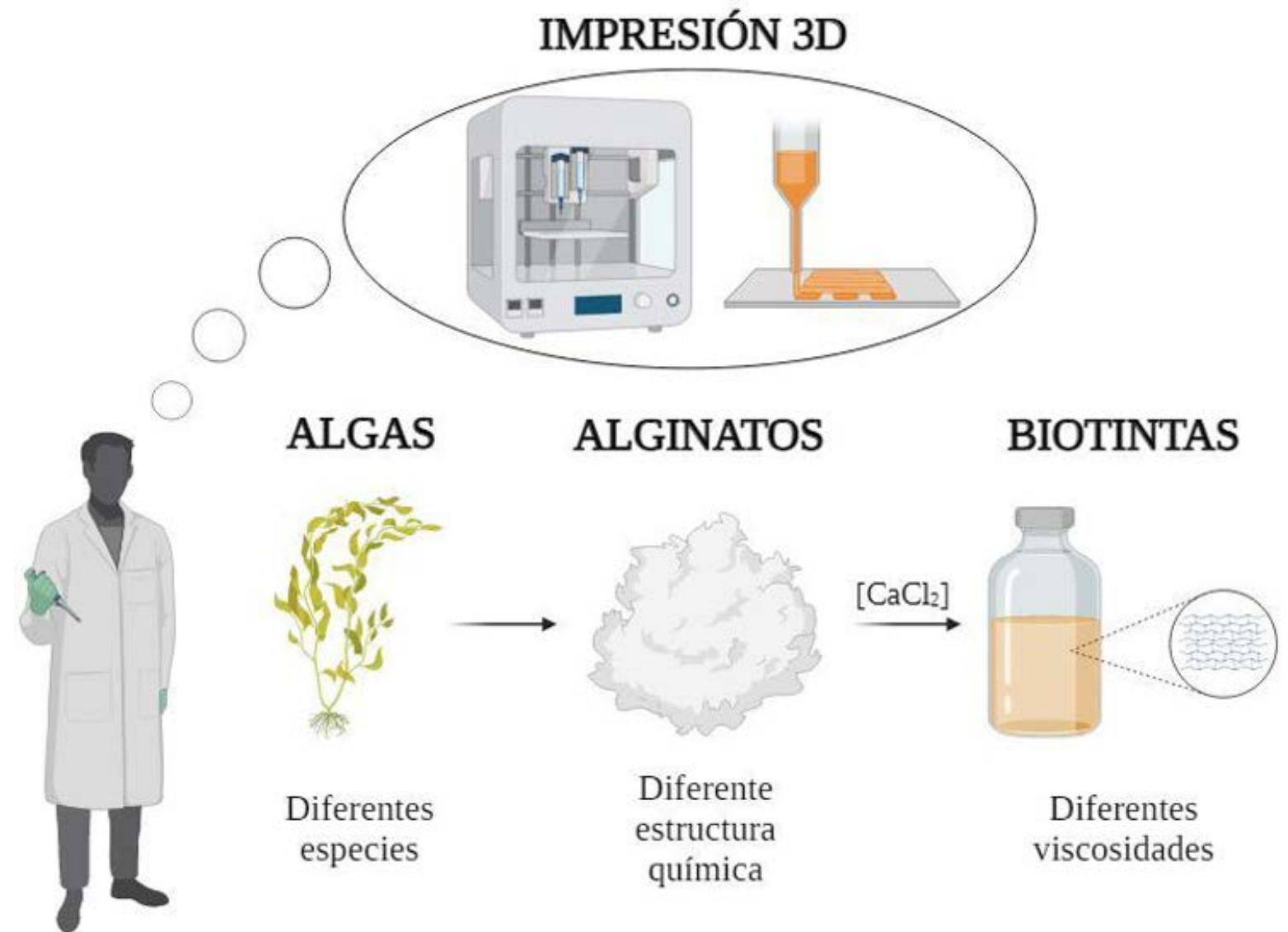
Palabras clave: alginato, estructura, biotinta, viscosidad, impresión 3D.

Abstract

Alginate is a natural polymer with a fast gelation process at room temperature in the presence of divalent cations, which is widely used in 3D printing by extrusion. In this work, three different alginates with different structural characteristics, one commercial and two extracted in the lab from algae were used to prepare alginate bioinks. These bioinks were crosslinked with different concentrations of CaCl₂. Results from the inverted vial and flow measurements allowed to conclude that al-

ginate with the lowest M/G ratio gave rise to bioinks with higher viscosity at lower concentrations of CaCl₂. This work demonstrates the influence that the alginate structure possesses for the generation of bioinks that will be used to produce scaffolds by 3D printing technique.

Keywords: alginate, structure, bioink, viscosity, 3D printing.



Introducción

El alginato es un polímero aniónico lineal compuesto por ácido β -D-manurónico (M) y ácido 1,4 α -L-gulurónico (G). Es el principal componente de la pared celular de muchas algas marrones (Phaeophyta), representando entre el 17 y el 45% del peso seco del alga [1]. El contenido y la distribución en que están organizadas las unidades M y G en la cadena, pueden formar bloques homopoliméricos (MM, GG) o heteropoliméricos (MG), proporcionándole determinadas características fisicoquímicas y funcionales al alginato [2,3]. En la actualidad este polisacárido se extrae de las algas marrones, principalmente de los géneros *Macrocystis*, *Laminaria*, *Saccharina*, *Ecklonia*, *Durvillaea*, and *Ascophyllum* [4]. El proceso de extracción generalmente incluye un pretratamiento del alga para eliminar pigmentos y compuestos fenólicos. Posteriormente, se realiza una extracción ácida, una neutralización y una precipitación/purificación. El proceso de extracción consiste en la conversión, mediante un tratamiento alcalino, de las sales insolubles del ácido alginico presentes en la pared celular del alga, en sales solubles en agua (normalmente alginato de sodio), para después ser precipitadas y purificadas [4,5]. Este proceso de extracción convencional ha sido muy estudiado durante los últimos años para optimizar el rendimiento y la calidad del alginato. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes, como el uso de altas temperaturas durante tiempos prolongados de extracción y grandes cantidades de disolventes orgánicos, lo que promueve la degradación de compuestos termolábiles y contribuye a la contaminación ambiental [6,7]. Como consecuencia y para responder al incremento en la demanda de productos naturales a partir de algas, se han estudiado otros métodos más "verdes" basados en tecnologías innovadoras como son ultrasonidos, microondas, altas presiones, tratamientos enzimáticos, fluidos supercríticos o presurizados, para la extracción del alginato [8].

El alginato es un material altamente biocompatible, biodegradable, no tóxico, de fuentes renovables, con propiedades gelificantes, espesantes, estabilizantes y formadoras de

películas, lo que lo ha convertido en un polímero ampliamente utilizado en la industria farmacéutica, alimenticia, cosmética y textil. Una de las aplicaciones del alginato con más interés en la actualidad es su utilización como hidrogeles para la fabricación de andamios poliméricos por impresión 3D. Esto se debe a su rápida y sencilla forma de gelificar a temperatura ambiente en presencia de cationes divalentes, principalmente cationes de calcio [9]. Existen varios tipos de impresión 3D de hidrogeles, como la impresión por extrusión, la impresión por chorro de tinta, la impresión asistida por láser o la impresión por estereolitografía. La impresión 3D de hidrogeles por extrusión consiste en ir depositando capa a capa una disolución polimérica viscosa, también llamada tinta de biomaterial o biotinta. Durante todo el proceso, las propiedades reológicas de la tinta influirán en el resultado final y la calidad de impresión. La propiedad principal que determina la calidad y resolución del andamio es la viscosidad de la tinta. Una mayor viscosidad da lugar a un apilamiento de capas más óptimo y, por lo tanto, la creación de piezas tridimensionales complejas y estables [10,11]. Actualmente, en el grupo de polímeros nanoestructurados y geles del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros se investiga acerca del desarrollo de hidrogeles a partir de polímeros de origen natural para su utilización como biotintas para impresión 3D. Específicamente, en el caso del alginato, se han desarrollado andamios poliméricos a partir de biotintas compuestas de hidrogeles de alginato y reforzados con celulosa microcristalina. La celulosa microcristalina es un polímero de origen natural utilizado para modular las propiedades reológicas, aumentar la viscosidad y conseguir así una mayor resolución en el proceso de impresión. Una vez optimizada la síntesis de la biotinta y caracterizadas sus propiedades reológicas, la biotinta seleccionada se utilizó para imprimir andamios poliméricos mediante impresión 3D por extrusión que posteriormente se testaron en cultivos celulares [12].

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se define el objetivo del presente trabajo como la optimización de las condiciones de preparación de hidrogeles a partir de alginatos

con diferentes características estructurales para su potencial aplicación como biotintas en impresión 3D por extrusión. Para ello, se llevará a cabo un estudio sistemático acerca de la relación existente entre la estructura química de los alginatos de partida, la preparación de tintas de biomateriales por entrecruzamiento con diferentes concentraciones de iones calcio y su viscosidad, para en un futuro próximo, producir andamios poliméricos óptimos mediante impresión 3D por extrusión.

Metodología experimental

Extracción del alginato y caracterización de la estructura química

El alginato de sodio se extrajo a partir de dos algas marrones *Ascophyllum nodosum* (ASC) y *Saccharina latissima* (SAC), siguiendo el método descrito por Bojorges y col., [1]. Brevemente, las algas se sometieron a un tratamiento ácido (HCl 0,2 M) con una relación sólido/líquido 1:25 y en agitación mecánica durante 12 h. El residuo se recuperó por centrifugación y se suspendió en NaHCO₃ (1:50, s/L) durante 2 h. Posteriormente se ajustó el pH a 8 y se dejó incubar a temperatura ambiente durante 12 h. La suspensión se centrifugó y al sobrenadante se le añadió NaCl al 0,2% (p/v) y se adicionaron volúmenes iguales de isopropanol para precipitar el alginato de sodio. Luego el precipitado se suspendió en isopropanol al 50% en el mismo volumen. Este último paso se repitió dos veces más y una con isopropanol puro. Finalmente, el precipitado se sometió a secado a 60 °C durante toda la noche.

Las muestras de alginato obtenidas se denominaron: i) alginato *Ascophyllum nodosum* (ASC) y ii) alginato *Saccharina latissima* (SAC). Los resultados obtenidos se compararon con los de una muestra de alginato comercial de baja viscosidad de Sigma-Aldrich (ABV).

Utilizando la técnica de caracterización de resonancia magnética nuclear (RMN) se pueden determinar la estructura y la composición de los bloques de alginato y, en particular, la relación entre los bloques de ácido manurónico

y ácido gulurónico, M/G [9]. Los alginatos ASC y SAC presentaron una relación M/G de 1,9 y 2,3. El alginato comercial de bajo peso molecular (ABV) presentó una relación M/G de 0,9. Adicionalmente, la estructura química de los alginatos se caracterizó por espectroscopía de infrarrojo (FT-IR).

Método de preparación de las biotintas de alginato

Para la preparación de las biotintas de alginato se disolvieron 2,8 g de alginato en 20 mL de tampón fosfato salino (PBS-pH =7,4) mediante agitación mecánica con motor (marca IKA) a 100 rpm durante toda la noche para obtener una concentración final de alginato del 14% (p/v). Se prepararon tres disoluciones de CaCl₂ a diferentes concentraciones, 60, 400 y 800 mM, en agua Mili-Q. Dichas disoluciones de alginato al 14% (p/v) se mezclaron con las diferentes disoluciones de CaCl₂ en viales de 20 mL para obtener unas concentraciones finales de CaCl₂ de 22, 160 y 320 mM y un 8% (p/v) de alginato. Posteriormente, se agitaron con un imán a 100 rpm en una placa calefactora durante toda la noche. Además, como referencia se preparó una biotinta de alginato al 8% (p/v) en buffer PBS sin CaCl₂. Por último, las biotintas se homogeneizaron haciéndolas pasar tres veces por una jeringuilla unida a una boquilla de 25G (0,25 mm de diámetro). Este procedimiento se repitió para las tres muestras de alginato bajo estudio.

Prueba de vial invertido y ensayos de flujo

La formación del gel se determinó empleando el método del vial invertido. Se prepararon un total de 12 muestras, 4 para cada muestra de alginato, donde se mantuvo constante la concentración de alginato al 8% (p/v) y se varió la concentración de CaCl₂, sin CaCl₂, 22, 160 y 320 mM. Las diferentes biotintas se sometieron a ensayos de flujo con el objetivo de determinar la viscosidad en función de la velocidad de cizallamiento en un reómetro TA AR-G2 (TA Instruments) a 25 °C utilizando una geometría de acero cono-plato de 40 mm y un gap de 58 μ m. Los resultados experimentales se ajustaron al modelo matemático

de Carreau-Yasuda [13] (**Ecuación 1**):

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + (\dot{\gamma})^a)^{\frac{n-1}{a}}$$

Ecuación 1

dónde "a" es un parámetro adimensional, "t" es el tiempo, "η_∞" es la viscosidad de cizallamiento a velocidad de cizallamiento infinita y "η₀" es la viscosidad de cizallamiento a velocidad de cizallamiento cero. Finalmente "n" se refiere al índice de comportamiento del flujo, siendo un número real y positivo. Si el valor de n se vuelve menor que la unidad, indica un mayor comportamiento de un fluido no-Newtoniano.

Resultados experimentales

Caracterización química de los alginatos de partida

En la **Figura 1** se muestran los espectros FTIR correspondientes a los distintos alginatos estudiados.

Como se observa, los espectros no fueron significativamente diferentes entre ellos, mostrando bandas características de este tipo de carbohidratos, como, por ejemplo, la vibración del grupo carbonilo en forma de anión carboxilato (COO⁻) a 1600 cm⁻¹, la vibración asociada a la deformación C-OH del grupo carboxilato (banda a 1410 cm⁻¹), o la región

anomérica entre 950 y 750 cm⁻¹ característica del alginato, confirmando por tanto la pureza de los materiales [14]. Otras bandas del espectro del alginato características son, por ejemplo, la presente a 950 cm⁻¹, que corresponde a la vibración C-O del residuo del ácido urónico, y las bandas entre los 850-750 cm⁻¹, que se atribuyen a las vibraciones de deformación C1-H de los residuos del ácido β-manurónico [15].

Preparación y caracterización de las biotintas de alginato

En la **Figura 2** se muestra el aspecto físico de las diferentes biotintas de alginato al 8% (p/v) en función de las concentraciones de CaCl₂ estudiadas. Las biotintas preparadas a partir de la muestra de alginato ABV al 8% (p/v) en PBS sin CaCl₂ y con 22 mM de CaCl₂ fluyen cuando son sometidas a la prueba de vial invertido. Por otro lado, un aumento de la

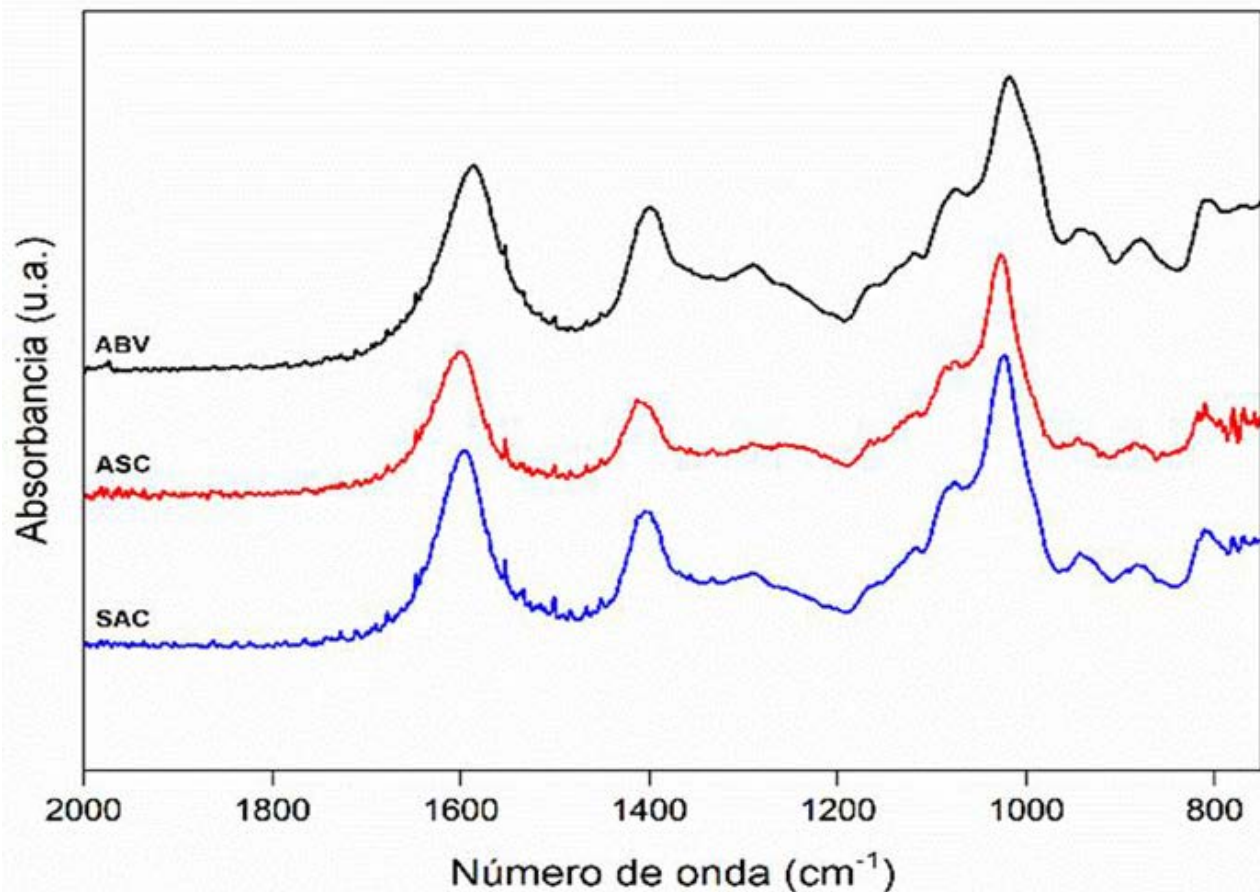


Figura 1. Espectro FTIR de los tres alginatos; ABV, ASC y SAC.

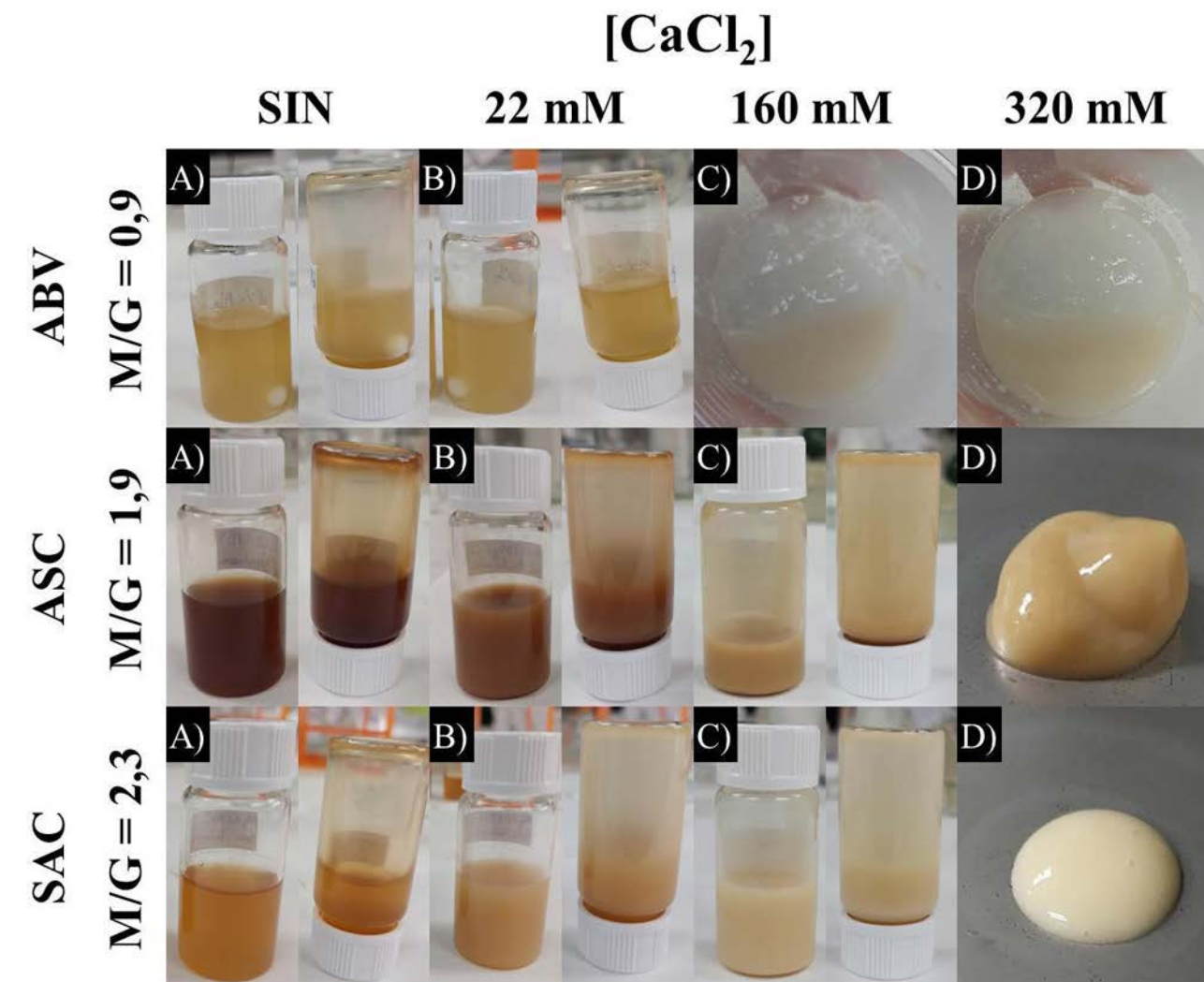


Figura 2. Biotintas de alginato al 8% (p/v) a diferentes concentraciones de CaCl₂. A) sin CaCl₂, B) 22 mM, C) 160 mM y D) 320 mM.

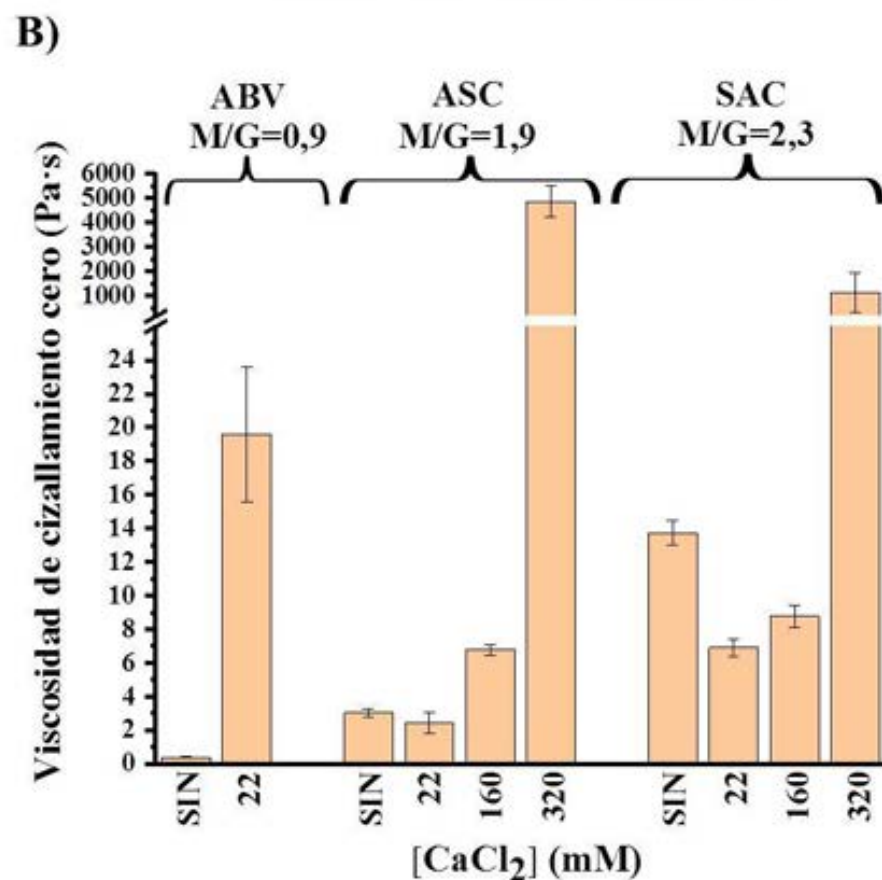
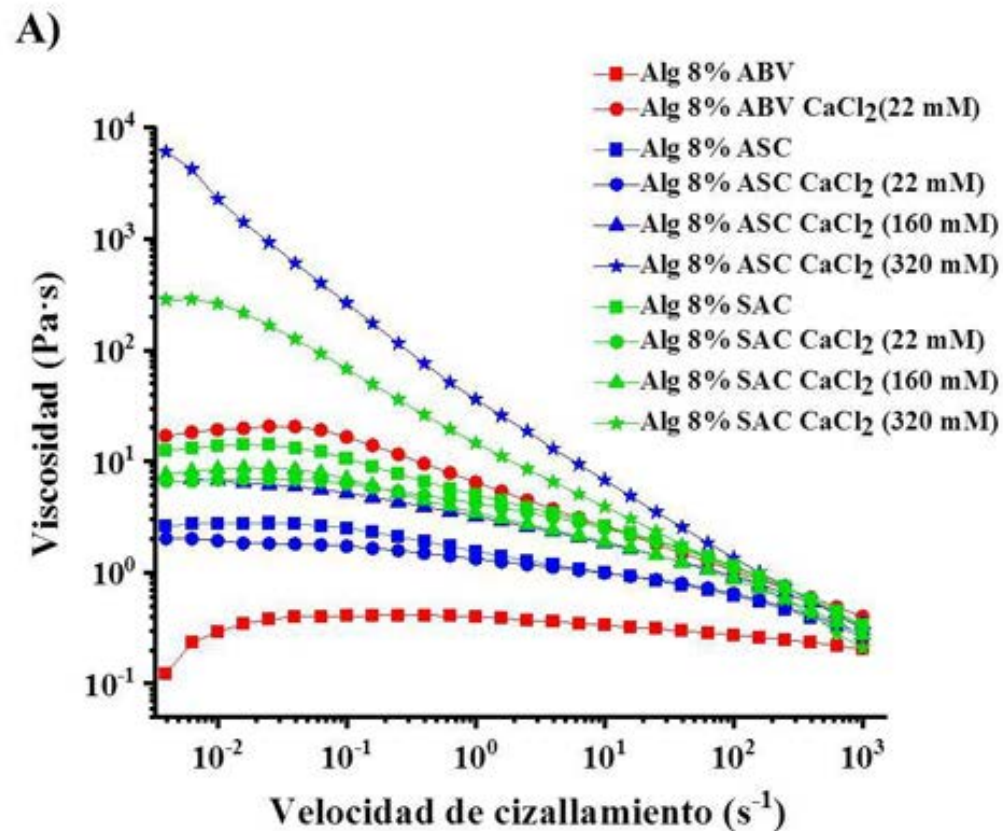


Figura 3. A) Ensayo de flujo; B) Gráfico de barras con los valores de viscosidad a cizallamiento cero, η_0 , para las diferentes biotintas en función de la concentración de cloruro cálcico.

concentración de CaCl_2 hasta valores de 160 y 320 mM da lugar a la formación de disoluciones con aspecto no homogéneo constituidos por agregados. En el caso de las muestras extraídas en el laboratorio, ASC y SAC, se obtuvieron disoluciones poliméricas de aspecto homogéneo a concentraciones de CaCl_2 mayores de 22 mM. A concentraciones de CaCl_2 de 160 mM, ambas muestras fluyeron en experimentos de vial invertido. El aumento de la concentración de CaCl_2 hasta valores de 320 mM dio lugar a la formación de una disolución viscosa con apariencia homogénea a nivel macroscópico.

A continuación, se llevaron a cabo ensayos de flujo con el objetivo de determinar la viscosidad de las biotintas preparadas en función de la velocidad de cizallamiento y los resultados se muestran en la **Figura 3** para las tres muestras de alginato preparadas a diferentes concentraciones de cloruro cálcico. Tal y como se puede observar en la **Figura 3A**, todas las muestras de este estudio preparadas por entrecruzamiento con cloruro cálcico presentan un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento (“shear thinning behaviour”), esto es, la viscosidad disminuye con la velocidad de cizallamiento. Este comportamiento es un requisito necesario para que las biotintas puedan ser utilizadas en impresión 3D por extrusión.

En la **Figura 3B** se recogen los valores de viscosidad a velocidad de cizallamiento cero, η_0 , calculados a través del ajuste de los datos experimentales mostrados en la **Figura 3A** al modelo matemático de Carreau-Yasuda (**Ecuación 1**). Para la biotinta preparada

con el alginato comercial ABV, la adicción de CaCl_2 (22 mM) a una disolución de alginato (8% p/v) da lugar a un aumento de η_0 desde 0,4 Pa·s a 19,5 Pa·s. En el caso de las biotintas preparadas con el alginato ASC, las disoluciones de alginato sin CaCl_2 y con CaCl_2 (22 mM) presentan valores similares de η_0 en torno a 3 Pa·s. El aumento de la concentración de CaCl_2 hasta valores de 160 mM da lugar a un aumento ligero de los valores de η_0 hasta valores próximos a 7 Pa·s que aumentan drásticamente hasta valores de η_0 de 4800 Pa·s para concentraciones de CaCl_2 de 320 mM. Finalmente, para la biotinta preparada con el alginato SAC se observa que a concentraciones de CaCl_2 , 22 y 160 mM, se obtienen valores similares de η_0 de 7 y 9 Pa·s, respectivamente. Como en el caso del alginato ASC, para una concentración de CaCl_2 a 320 mM se produce un gran aumento de la η_0 hasta valores de 1115 Pa·s.

Los resultados de viscosidad obtenidos para las diferentes biotintas de alginato pueden relacionarse con la relación de bloques M/G. A una concentración de cloruro cálcico 22 mM, el alginato comercial, ABV (M/G=0,9) da lugar a disoluciones con valores mayores de viscosidad que los obtenidos para los alginatos extraídos en el laboratorio, ASC y SAC, con valores de M/G iguales a 1,9 y 2,3 respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con resultados en la literatura que indican que los alginatos con mayor proporción de bloques G dan lugar a geles más fuertes cuando se entrecruzan con iones divalentes [16]. Cabe destacar que en el caso de los alginatos extraídos en el laboratorio, ASC y SAC, es posible aumentar la concentración de cloruro cálcico hasta valores de 320 mM obteniéndose disoluciones homogéneas a nivel macroscópico. Los valores de viscosidad obtenidos para estas muestras se encuentran en el rango de valores reportados en la literatura para biotintas de alginato empleadas en impresión 3D por extrusión. No obstante, es necesaria la realización de experimentos adicionales encaminados a determinar la imprimibilidad de las biotintas preparadas en este estudio tales como pruebas de formación de filamento y determinación de las propiedades

de recuperación entre otras [17,18]. En la actualidad, se están llevando a cabo experimentos adicionales enfocados a la optimización de formulaciones basadas en alginatos con propiedades reológicas adecuadas para ser utilizadas como biotintas en impresión 3D con énfasis en la relación existente entre las propiedades estructurales de los alginatos de partida y las propiedades finales de las biotintas obtenidas.

Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio sistemático del entrecruzamiento con cloruro cálcico de muestras de alginato con diferentes características estructurales en cuanto a la relación de bloques M/G con el objetivo último de obtener biotintas de alginato para impresión 3D por extrusión. Los resultados obtenidos muestran que las biotintas preparadas con un alginato comercial presentan valores mayores de viscosidad a bajas concentraciones de CaCl_2 (22mM) con respecto a las muestras de alginato extraídas en el laboratorio, con mayor relación M/G. Asimismo, las muestras de alginato comercial dan lugar a la formación de disoluciones no homogéneas macroscópicamente con el aumento de la concentración de cloruro cálcico. Por el contrario, para los alginatos extraídos en el laboratorio, se obtienen disoluciones viscosas de aspecto homogéneo a concentraciones de CaCl_2 por encima de 22 mM lo que da lugar a la obtención de biotintas de alginato con valores de viscosidad superiores a 1000 Pa.s. Con este estudio se destaca la importancia de entender las propiedades estructurales de los alginatos de partida para una correcta y óptima formación de su biotinta que posteriormente se utilizará en impresión 3D por extrusión para la preparación de andamios poliméricos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación económica del MICINN (PID2020-113045GB-C22 y RTI-2018-094268-B-C22). Adrián Esteban-Arranz agradece el contrato financiado por la Plataforma Temática Interdisciplinar del

CSIC, SusPlast: Plataforma Interdisciplinar de Plásticos Sostenibles para una Economía Circular. Hylenne Bojorges agradece el contrato Santiago Grisolia de la Generalitat Valenciana (GRISOLIAP/2019/007)

Referencias

- H. Bojorges, M.J. Fabra, A. López-Rubio, A. Martínez-Abad, Alginate industrial waste streams as a promising source of value-added compounds valorization, *Sci. Total Environ.* 838 (2022) 156394.
- T.A. Davis, F. Llanes, B. Volesky, A. Mucci, Metal Selectivity of *Sargassum* spp. and Their Alginates in Relation to Their α -L-Guluronic Acid Content and Conformation, *Environ. Sci. Technol.* 37 (2003) 261–267.
- M. Gomaa, M.A. Fawzy, A.F. Hifney, K.M. Abdel-Gawad, Use of the brown seaweed *Sargassum latifolium* in the design of alginate-fucoidan based films with natural antioxidant properties and kinetic modeling of moisture sorption and polyphenolic release, *Food Hydrocoll.* 82 (2018) 64–72.
- C. Peteiro, Alginate Production from Marine Macroalgae, with Emphasis on Kelp Farming BT - Alginates and Their Biomedical Applications, in: B.H.A. Rehm, M.F. Moradali (Eds.), Springer Singapore, Singapore, (2018) 27–66.
- M. Garcia-Vaquero, G. Rajauria, J. V O'Doherty, T. Sweeney, Polysaccharides from macroalgae: Recent advances, innovative technologies and challenges in extraction and purification., *Food Res. Int.* 99 (2017) 1011–1020.
- S.U. Kadam, B.K. Tiwari, C.P. O'Donnell, Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae., *J. Agric. Food Chem.* 61 (2013) 4667–4675.
- L.-E. Rioux, S.L. Turgeon, M. Beaulieu, Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds, *Carbohydr. Polym.* 69 (2007) 530–537.
- V. Ummat, S.P. Sivagnanam, G. Rajauria, C. O'Donnell, B.K. Tiwari, Advances in pre-treatment techniques and green extraction technologies for bioactives from seaweeds, *Trends Food Sci. Technol.* 110 (2021) 90–106.
- R.B. and J. Das Sudipto Datta, Importance of Alginate Bioink for 3D Bioprinting in Tissue Engineering and Regenerative Medicine, *IntechOpen.* (2019) 1–11.
- X. Cui, J. Li, Y. Hartanto, M. Durham, J. Tang, H. Zhang, G. Hooper, K. Lim, T. Woodfield, Advances in Extrusion 3D Bioprinting: A Focus on Multicomponent Hydrogel-Based Bioinks, *Adv. Healthc. Mater.* 9 (2020) 1–27.
- A. Schwab, R. Levato, M. D'Este, S. Piluso, D. Eglin, J. Malda, Printability and Shape Fidelity of Bioinks in 3D Bioprinting, *Chem. Rev.* 120 (2020) 11028–11055.
- A. Hernández-Sosa, R. Ana, R. Jiménez, L. Rojo, F. Boulmedais, M.R. Aguilar, M. Criado-Gonzalez, R. Hernández, Optimization of the Rheological Properties of Self Assembled Tripeptide / Alginate / Cellulose Hydrogels for 3D Printing, *Polymers.* 14 (2022) 2229.
- I. Gorroñogoitia, U. Urtaza, A. Zubiarrain-Laserna, A. Alonso-Varona, A.M. A Zaldúa, Study of the Printability of Alginate-Based Bioinks by 3D Bioprinting for Articular Cartilage Tissue Engineering. *Polymers* 14 (2022) 354.
- H. Bojorges, A. Martínez-Abad, M. Martínez-Sanz, M.D. Rodrigo, F. Vilaplana, A. López-Rubio, M.J. Fabra, Structural and functional properties of alginate obtained by means of high hydrostatic pressure-assisted extraction, *Carbohydr. Polym.* 299 (2023) 120175.
- E. Gómez-Ordóñez, P. Rupérez, FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds, *Food Hydrocoll.* 25 (2011) 1514–1520.
- Kurt Ingar Draget *, Gudmund Skjåk-Bræk, Olav Smidsrød. Alginate based new materials. *International Journal of Biological Macromolecules* 21 (1997) 47–55.
- M.E. Cooke, D.H. Rosenzweig, The rheology of direct and suspended extrusion bioprinting, *APL Bioeng.* 5 (2021) 11502.
- N. Paxton, W. Smolan, T. Böck, F. Melchels, J. Groll, T. Jungst, Proposal to assess printability of bioinks for extrusion-based bioprinting and evaluation of rheological properties governing bioprintability, *Biofabrication.* 9 (2017) 044107.



Los autores de este artículo de divulgación son investigadores del laboratorio BIOFUN (dentro del grupo de envases del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC)), que pertenecen asimismo a la Plataforma Temática Interdisciplinar SUSPLAST. El grupo de envases desarrolla su actividad investigadora, tanto a nivel fundamental como más aplicado, en áreas de desarrollo de materiales derivados de biomasa para aplicaciones en alimentación (como ingredientes, materiales de envasado alimentario y encapsulación). Alineados con las políticas de economía circular, buscan mejorar la sostenibilidad de procesos y materiales y, en concreto, en el área de envasado alimentario, los trabajos llevados a cabo están enfocados en el desarrollo de materiales sostenibles, con propiedades mejoradas y funcionalidades adicionales (materiales activos e inteligentes). amparo.lopez@iata.csic.es



El grupo de Geles y Polímeros Nanoestructurados forma parte del Departamento de Nanomateriales y Biomateriales Poliméricos del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP-CSIC) y está integrado en la Plataforma Temática Interdisciplinar SUSPLAST. Nuestra investigación tiene como objetivo general desarrollar nuevos materiales poliméricos a través de la gelificación y la nanoestructuración de polímeros y su evaluación como materiales precursores de aplicaciones biomédicas incluyendo i) nuevas metodologías para la formación de geles poliméricos en la nano, micro y nanoescala; ii) materiales funcionales a partir de polímeros naturales por técnicas de ensamblado capa a capa, formación de geles y su funcionalización química iii) estudio de la relación entre el mecanismo de gelificación y la estructura resultante y sus propiedades macroscópicas con énfasis en sus propiedades reológicas.

rhernandez@ictp.csic.es