

“Extracción de polisacáridos (pectina y quitosano) de desechos predominantes de Yucatán para la síntesis de criogeles híbridos mediante complejos polielectrolíticos (PEC)”

Cruz Cabañas Melissa. Escalante Alpuche Angélica. Góngora Castillo Sergio. Granados Escoto Andrés. Gutiérrez Velazquez Natalia. Lizarraga Vado Carla. Ortiz Morales Montserrat.

Universidad Modelo. Ingeniería Biomédica. Aparcamiento, México 176, 97305 Mérida, Yuc. 999 930 1900. 14208725@modelo.edu.mx

Junio -2026

Resumen

Este proyecto propone el desarrollo de hidrogeles a partir de quitosano y pectina, dos biopolímeros naturales con potencial aplicación en el cuidado de heridas. El quitosano fue obtenido de residuos de camarón mediante extracción asistida por ultrasonido, aprovechando un recurso abundante en Yucatán. La pectina, por su parte, se extrajo de cítricos locales como naranja agria y naranja dulce mediante hidrólisis ácida. La metodología consiste en la extracción y combinación de ambos polímeros mediante cargas electromagnéticas para formar complejos tipo hidrogel y evaluar distintas formulaciones, con y sin agentes entrecruzantes. Además, se empleó criogelación para favorecer estructuras porosas. Se busca desarrollar un biomaterial sustentable, accesible y con identidad regional.

Palabras clave: Complejo Polielectrolítico, Criogel, Pectina, Quitosano.

1. Introducción

Actualmente, el aprovechamiento de residuos biológicos para el desarrollo de biomateriales biodegradables representa una alternativa sustentable frente al incremento de desechos orgánicos y materiales sintéticos contaminantes. En este contexto, polisacáridos naturales como la pectina y el quitosano han despertado gran interés debido a sus propiedades biocompatibles, biodegradables y capacidad para formar estructuras poliméricas con potencial aplicación biomédica.

La pectina es un heteropolisacárido presente principalmente en las paredes celulares de frutas cítricas, mientras que el quitosano se obtiene mediante la desacetilación de la quitina presente en exoesqueletos de crustáceos. Ambos biopolímeros poseen grupos funcionales capaces de interactuar electrostáticamente para formar complejos polielectrolíticos, permitiendo la obtención de hidrogeles con propiedades físicas y mecánicas de interés para aplicaciones como sistemas de liberación controlada, ingeniería de tejidos y cuidado de heridas.

En Yucatán, la industria pesquera y el consumo de cítricos generan grandes cantidades de residuos orgánicos, particularmente cáscaras de camarón y desechos de naranja, los cuales representan una fuente accesible de materia prima para la obtención de estos biopolímeros. El aprovechamiento de dichos residuos no solo contribuye a disminuir el impacto ambiental, sino que también promueve el desarrollo de materiales con identidad regional y valor agregado.

Por ello, el presente proyecto propone la extracción de pectina y quitosano a partir de residuos predominantes de Yucatán y su posterior combinación mediante complejización polielectrolítica para la síntesis de hidrogeles híbridos, en el que de igual manera se emplea un proceso de criogelación durante la formación del material con el propósito de generar estructuras porosas tridimensionales, las cuales

pueden favorecer propiedades como la absorción de fluidos, estabilidad y funcionalidad del biomaterial, características de interés para posibles aplicaciones biomédicas.

2. Antecedentes.

En los últimos años, el desarrollo de biomateriales biodegradables ha adquirido gran relevancia debido a la necesidad de generar alternativas sustentables con aplicaciones en áreas biomédicas, farmacéuticas y ambientales. Entre los materiales más estudiados se encuentran los polisacáridos naturales, como la pectina y el quitosano, debido a sus propiedades biocompatibles, biodegradables y capacidad para formar estructuras poliméricas funcionales.

En los últimos años, el aprovechamiento de residuos agroindustriales y marinos ha cobrado gran relevancia debido a la necesidad de desarrollar biomateriales sostenibles con aplicaciones biomédicas y farmacéuticas. Entre estos materiales destacan la pectina y el quitosano, polisacáridos naturales que poseen propiedades biocompatibles, biodegradables y funcionales para la fabricación de hidrogeles y sistemas de liberación controlada de fármacos. (Mohammed et al., 2013)

La pectina es un heteropolisacárido presente principalmente en la pared celular de plantas no leñosas y se encuentra en grandes cantidades en residuos cítricos como cáscaras y bagazo. Diversos estudios han señalado que cerca del 50 % del peso fresco de los cítricos procesados se convierte en residuos, los cuales representan una fuente importante de compuestos de valor agregado, especialmente pectina.

Además de sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes, la pectina presenta aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y biomédica debido a su capacidad de retención de agua, biocompatibilidad y potencial como agente de liberación controlada de fármacos. (Sharma et al., 2022)

Asimismo, se ha reportado que la valorización de residuos cítricos contribuye a reducir problemas ambientales derivados de su disposición inadecuada, como emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación de cuerpos de agua. Por ello, la extracción de pectina a partir de residuos agroindustriales se considera una estrategia sustentable dentro del modelo de economía circular. (Sharma et al., 2022)

Por otra parte, el quitosano es un polisacárido derivado de la desacetilación de la quitina, la cual se encuentra principalmente en exoesqueletos de crustáceos como camarones y cangrejos. Mohammed et al. (2013) describieron un método de extracción de quitina y conversión a quitosano utilizando procesos de desproteización, desmineralización y desacetilación química, obteniendo materiales con propiedades antimicrobianas y biocompatibles relevantes para aplicaciones biomédicas. (Mohammed et al., 2013)

El interés en el quitosano radica en sus propiedades biodegradables, antifúngicas y antibacterianas, así como en su capacidad para formar películas, fibras e hidrogeles utilizados en aplicaciones médicas y de empaquetado. También se ha demostrado que el peso molecular y el grado de desacetilación influyen significativamente en su actividad antimicrobiana y desempeño funcional. (Mohammed et al., 2013)

La combinación de pectina y quitosano ha sido ampliamente estudiada para la fabricación de hidrogeles híbridos con propiedades mejoradas. Li et al., (2021) desarrollaron un hidrogel híbrido de pectina/quitosano mediante reacciones de Diels-Alder, obteniendo materiales con propiedades de auto-reparación, alta capacidad de hinchamiento, respuesta a cambios de pH y adecuada citocompatibilidad. Los autores señalaron que estos hidrogeles presentan potencial para aplicaciones de liberación controlada de fármacos y biomateriales inteligentes. (Li et al., 2021)

Además, la interacción entre los grupos amino protonados del quitosano y los grupos carboxilo de la pectina permite formar redes poliméricas sensibles al pH, favoreciendo la formación de hidrogeles físicamente entrecruzados con aplicaciones biomédicas. Estas características hacen que los sistemas pectina/quitosano sean candidatos prometedores para ingeniería de tejidos y sistemas de administración de medicamentos. (Maciel et al., 2015)

De igual manera, investigaciones recientes han explorado la modificación química de hidrogeles basados en quitosano para mejorar sus propiedades terapéuticas. Deng et al. (2025) desarrollaron un hidrogel de quitosano modificado con ácido cítrico y cargado con shikonina, el cual mostró propiedades antibacterianas, biocompatibilidad y capacidad para promover la cicatrización de heridas cutáneas. Los resultados evidenciaron que este tipo de hidrogeles puede mantener un ambiente húmedo, absorber exudados y favorecer la regeneración tisular. (Deng et al., 2026)

En conjunto, estos estudios demuestran que la utilización de pectina obtenida de residuos cítricos y quitosano derivado de residuos marinos representa una alternativa sustentable para el desarrollo de biomateriales avanzados. La combinación de ambos polisacáridos en sistemas hidrogel ofrece propiedades fisicoquímicas y biológicas favorables para aplicaciones biomédicas, especialmente en liberación controlada de fármacos y cicatrización de heridas.

3. Objetivos

3.1 General

Sintetizar hidrogeles basados en quitosano y pectina de origen natural, obtenidos a partir de recursos locales, mediante el método de complejización polielectrolítica, con el fin de desarrollar un biomaterial biodegradable y evaluar su potencial aplicación en el campo de los biomateriales.

3.2 Específicos

- Obtener quitosano a partir de residuos de camarón mediante extracción asistida por ultrasonido.
- Extraer pectina a partir de cítricos locales mediante hidrólisis ácida.
- Formular hidrogeles mediante la combinación de quitosano y pectina, evaluando diferentes proporciones y condiciones de preparación.
- Analizar el efecto del uso de agentes entrecruzantes en la formación y estabilidad de los hidrogeles.
- Aplicar un proceso de criogelación para favorecer la formación de estructuras porosas en los materiales obtenidos.

4. Materiales y Métodos

4.1 Materiales

La materia prima cítrica utilizada, correspondiente a cáscaras de naranja agria (*Citrus aurantium*) y naranja dulce (*Citrus sinensis*), fue adquirida en la Feria de la Naranja realizada en Oxkutzcab, Yucatán. Los residuos de cáscara de camarón (*Litopenaeus setiferus*), fueron obtenidos de una marisquería local (Mérida, Yucatán). Los reactivos empleados incluyeron ácido clorhídrico (HCl, 37%), ácido acético glacial (CH₃COOH), hidróxido de sodio (NaOH), etanol al 70 y 90%, y agua destilada, todos de grado analítico. Los procedimientos experimentales se realizaron utilizando un horno de laboratorio, un baño ultrasónico modelo 8892, parrillas de calentamiento con agitación magnética y un pH-metro.

4.2 Métodos

4.2.1 Extracción del quitosano

La obtención de quitosano se realizó a partir de cáscaras de camarón mediante una serie de tratamientos químicos orientados a eliminar impurezas y transformar la quitina en quitosano siguiendo

la metodología de (Antonino et al., 2017) con ciertas modificaciones. Inicialmente, las cáscaras fueron lavadas con agua destilada para retirar residuos orgánicos y posteriormente se secaron en horno a 60 °C hasta eliminar la humedad. Una vez secas, se almacenaron para los tratamientos posteriores.

El primer tratamiento correspondió a la desmineralización, cuyo objetivo fue eliminar minerales presentes en las cáscaras, principalmente carbonato de calcio. Para ello, el material se trató con ácido clorhídrico (HCl) 1 M en relación 1:10 (p/v), manteniendo agitación moderada y calentamiento entre 60 y 70 °C durante aproximadamente una hora. Finalizado el proceso, el material se lavó repetidamente con agua destilada hasta alcanzar un pH cercano a la neutralidad (6–7) y posteriormente se secó en horno a 60 °C.

Después, se realizó la desproteinización con hidróxido de sodio (NaOH) 2 M en relación 1:10 (p/v), con el fin de remover proteínas asociadas a la quitina y aumentar su pureza. La mezcla se mantuvo bajo agitación a 80 °C durante aproximadamente dos horas. Después del tratamiento alcalino, el material fue lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH entre 6 y 7, y nuevamente secado a 60 °C.

Finalmente, la quitina obtenida fue sometida a un proceso de desacetilación para su conversión en quitosano. Para ello, se utilizó NaOH al 40 % en relación 1:10 (p/v), manteniendo la mezcla a 70 - 75 °C durante dos horas con apoyo de baño ultrasónico para favorecer la reacción; de igual forma se hizo una solución con los mismos parámetros pero sin ultrasonido, manteniendo en agitación moderada por dos horas igualmente. Posteriormente, el producto fue filtrado, lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro y secado en horno a 60 °C, obteniéndose así el quitosano listo para su posterior aplicación.

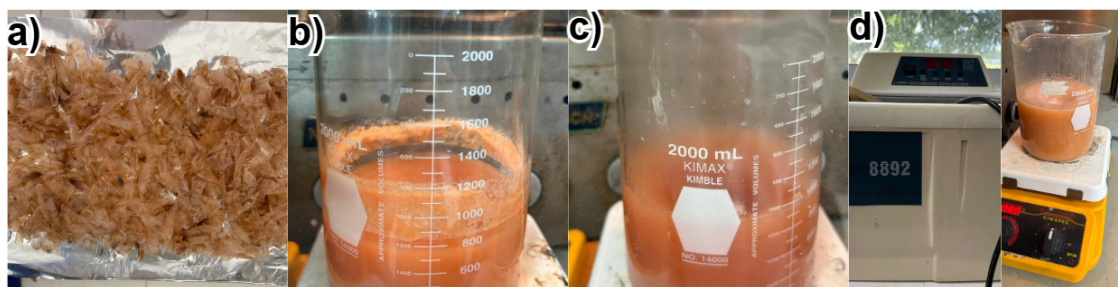


Figura 1. Proceso de extracción de quitosano de cáscaras de camarón. Incluyendo la preparación de la materia prima (a), desmineralización (b), desproteinización (c), y desacetilación con y sin ultrasonido correspondientemente (d).

4.2.2 Extracción de pectina

La extracción de pectina se realizó siguiendo el método propuesto por (Hamid et al., 2022), con modificaciones adaptadas a la disponibilidad de materiales y condiciones experimentales. El procedimiento se llevó a cabo paralelamente utilizando ambos tipos de naranja empleados en el estudio. En primer lugar, las cáscaras de naranja fueron lavadas con agua destilada para eliminar residuos e impurezas. Posteriormente, se cortaron en fragmentos pequeños y se sometieron a secado en horno a 60 °C durante aproximadamente 12 horas, hasta reducir su contenido de humedad. El material seco fue triturado mediante mortero y licuadora hasta obtener un polvo homogéneo y de tamaño de partícula fina, favoreciendo una mayor superficie de contacto durante la extracción.

Como etapa de pretratamiento, se realizó una despigmentación del material utilizando etanol al 70 % en relación 1:10 (p/v). La mezcla se mantuvo bajo agitación a temperatura ambiente durante 30–60 minutos y posteriormente se filtró para separar el sólido. El material recuperado se secó nuevamente a 60 °C con el fin de eliminar residuos de etanol y reducir la presencia de pigmentos, compuestos fenólicos y otras sustancias interferentes.

Para la extracción ácida, el polvo tratado se mezcló con agua destilada en relación 1:20 (p/v). El pH de la suspensión se ajustó entre 1.5 y 2 mediante la adición controlada de ácido clorhídrico (HCl). La extracción se llevó a cabo a una temperatura de 85–90 °C durante un periodo máximo de 90 minutos,

manteniendo agitación constante y monitoreando periódicamente el pH para conservar las condiciones óptimas de hidrólisis. Asimismo, las pérdidas de volumen por evaporación fueron compensadas mediante la adición de agua destilada.

Una vez concluida la extracción, la solución se enfrió rápidamente a una temperatura menor de 40 °C para evitar la degradación térmica de la pectina. Posteriormente, se realizó una filtración para separar el residuo sólido del extracto líquido y se centrifugó a 4000–5000 rpm durante 10 minutos para mejorar la pureza del extracto recuperado.

Finalmente, la pectina fue precipitada mediante la adición de etanol al 90% previamente refrigerado, en una relación 1:2 (extracto:etanol), favoreciendo su separación del medio líquido. La precipitación se dejó reposar durante 24h para promover la completa formación y recuperación del polímero. Posteriormente, el precipitado obtenido se secó en horno a 60 °C hasta obtener un material estable y finalmente se pulverizó para obtener un polvo fino y homogéneo apto para su almacenamiento y uso posterior.



Figura 2. *Proceso de extracción de pectina de cáscaras de naranja. Incluyendo la preparación de la materia prima (a), despigmentación (b), hidrólisis ácida (c), y precipitado (d).*

4.2.3 Preparación del hidrogel

La metodología empleada se basó en la propuesta por (Maciel et al., 2015) sin embargo después del primer procedimiento, ciertas variables fueron ajustadas para optimizar el proceso.

El quitosano obtenido fue disuelto en una solución de ácido acético glacial al 1% v/v bajo agitación magnética constante durante 15-20 min, hasta obtener una solución homogénea de concentración 0.5% p/v. Paralelamente, la pectina fue disuelta en agua destilada a una concentración de 0.5% p/v, empleando calentamiento no mayor a 40°C y agitación continua durante 30 min para asegurar su completa solubilización.

Posteriormente, el pH de ambas soluciones fue ajustado imdividualmente, el quitosano a 7 y la pectina hasta un valor de 5, mediante la adición controlada de soluciones de NaOH y HCl, con el fin de favorecer la interacción electrostática entre los grupos amino protonados ($-\text{NH}_3^+$) del quitosano y los grupos carboxilo ($-\text{COO}^-$) de la pectina.

Luego, la solución de pectina fue añadida gradualmente a la solución de quitosano bajo agitación constante durante 20 min en una relación 1:2. Como resultado, se promovió la formación del complejo polielectrolítico quitosano-pectina, obteniéndose una mezcla homogénea y viscosa. Durante esta etapa, se realizaron modificaciones en ciertas variables del proceso con el fin de optimizar la disolución homogénea y favorecer una mejor interacción entre ambos polímeros.

Posteriormente, a la mezcla polimérica se le añadió ácido cítrico como agente entrecruzante con el fin de promover la formación de la matriz polimérica, estrategia previamente reportada para la obtención de hidrogeles biodegradables (Deng et al., 2026).

Por último, el complejo polimérico fue enmoldado y sometido a congelación con el fin de inducir el proceso de criogelación, técnica empleada para favorecer la formación de estructuras porosas tridimensionales características de este tipo de biomateriales. Durante este proceso, la formación de cristales de hielo actúa como agente porógeno temporal, generando una red interconectada tras el

descongelamiento, lo cual puede contribuir a mejorar las propiedades de absorción y estabilidad del hidrogel (Razavi et al., 2019).

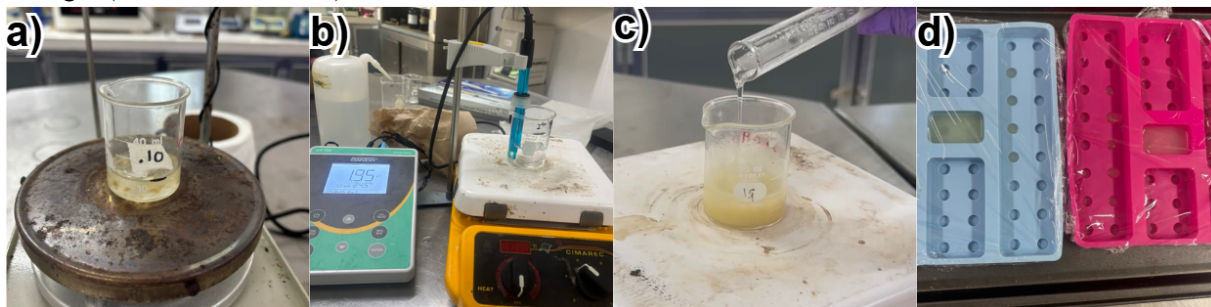


Figura 3. Proceso de preparación del hidrogel híbrido. Incluyendo la preparación de soluciones(a), ajustes de pH(b), unión polielectrolítica pectina-quitosano(c), y la criogelación(d).

5. Resultados.

5.1 Caracterización del quitosano

5.1.1 Apariencia física

El quitosano obtenido, tanto en el tratamiento con asistencia ultrasónica como en el realizado sin ultrasonido, presentó una apariencia física de tono blanquecino y textura homogénea, características asociadas a un adecuado proceso de purificación y desacetilación. En ambos casos, el material mostró alta solubilidad en ácido acético glacial y una adecuada interacción con ácido clorhídrico (HCl), observándose la formación de soluciones densas y viscosas, lo que indica una correcta disolución del quitosano. Estas propiedades físicas sugieren la obtención de un biopolímero con buena calidad y comportamiento funcional; las pequeñas diferencias observadas entre ambos tratamientos pueden deberse a las condiciones empleadas durante el proceso de extracción y conversión.

5.1.2 Rendimiento de la extracción

El rendimiento porcentual (rendimiento %) de la extracción de quitosano fue calculado mediante la ecuación (1), obteniéndose un valor de: SIN ultrasonido 21.59 % y CON ultrasonido 21.69 %. La variación en el porcentaje de rendimiento de la extracción de quitosano puede atribuirse a diversos factores, entre ellos el grado de desacetilación de la quitina, la concentración de los reactivos utilizados durante las etapas de desproteinización y desmineralización, la temperatura y el tiempo de reacción, así como la relación sólido-líquido empleada durante el proceso. Asimismo, las características de la materia prima utilizada, en este caso exoesqueletos de camarón blanco (*Penaeus setiferus*) que se encuentra en la Península de Yucatán, pueden influir significativamente en el rendimiento final, debido a variaciones en el contenido de quitina, minerales y proteínas asociadas a factores ambientales, alimentación, etapa de crecimiento y condiciones de almacenamiento del residuo biológico.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{gr pesos iniciales}}{\text{gr pesos finales}} * 100 \quad (1)$$

5.1.3 Grado de desacetilación

El grado de desacetilación (GD) del quitosano fue determinado mediante titulación potenciométrica utilizando la ecuación ##, obteniéndose valores de *** % para el tratamiento con asistencia ultrasónica y arriba del 80% para el tratamiento sin ultrasonido. En ambos casos se obtuvo un alto grado de desacetilación, destacando que el tratamiento sin ultrasonido presentó un valor superior al 80 %, lo cual indica la obtención de un quitosano con características adecuadas y buena calidad para diversas aplicaciones biotecnológicas y biomédicas. Las variaciones observadas en el grado de desacetilación pueden atribuirse a factores como la concentración de hidróxido de sodio empleada, la temperatura y el tiempo de reacción, así como la relación sólido-líquido utilizada durante el proceso. En el tratamiento con ultrasonido, la cavitación acústica favorece la ruptura de enlaces intermoleculares y mejora la penetración de los reactivos en la estructura de la quitina, aumentando la eficiencia de la desacetilación. Por otro lado, en ausencia de ultrasonido, la transferencia de masa ocurre de manera menos eficiente, lo que puede limitar la remoción de grupos acetilo y afectar las propiedades fisicoquímicas del quitosano obtenido. Además, las características propias de los exoesqueletos de camarón, también pueden influir en el grado de desacetilación final.

5.2 Caracterización de la pectina

5.2.1 Apariencia física

Se obtuvo pectina con una apariencia homogénea y de tonalidad amarillenta (ligeramente más intensa en la naranja agria), con textura granulada y con partículas de tamaño relativamente uniforme. La muestra presentó buena capacidad de dispersión y solubilización en agua a temperatura controlada, formando una solución densa y uniforme, característica de materiales con contenido de compuestos pécticos.

5.2.2 pH

El pH de las pectinas obtenidas a partir de ambos tipos de naranja fue de 2.59 con una desviación estándar de 0.14, indicando un carácter ácido asociado a la presencia de grupos carboxilo libres en la estructura del polisacárido. Este valor se encuentra cercano a los reportados en la literatura para pectinas extraídas de fuentes cítricas (citar la literatura), cuyos valores de pH oscilan entre 2.8 y 3.2. La ligera diferencia observada podría atribuirse al tipo de cítrico utilizado, así como a las condiciones de extracción y a la concentración residual de ácidos presentes en la muestra.

5.2.3 Rendimiento de la extracción

El rendimiento porcentual (rendimiento %) de la extracción de pectina, fue calculado mediante la ecuación ##, donde m_0 (g) es el peso de las cáscaras de naranja secas y m (g) es el peso de la pectina pura seca, resultó del 3.2% y el 1.6% correspondientemente de la naranja dulce y agria. El rendimiento obtenido para la naranja dulce se encontró dentro del intervalo reportado en el artículo de referencia utilizado para este estudio, el cual osciló entre 3.24 y 22.5%, lo que indica concordancia con los valores descritos en la literatura (cita). La variación en el porcentaje de rendimiento de la extracción de pectina puede atribuirse a diversos factores, entre ellos la temperatura y la duración de la extracción, así como la madurez del fruto, el momento de la recolección, el grosor de la cáscara, la edad del naranjo, los métodos de riego y el tipo de suelo.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{m}{m_0} * 100 \quad (2)$$

5.2.4 Grado de esterificación

La evaluación cualitativa del grado de metoxilación de las pectinas obtenidas se realizó mediante pruebas de gelificación con CaCl_2 y sacarosa, con el fin de identificar el comportamiento característico de pectinas de bajo metoxilo (LM) y alto metoxilo (HM). En la serie con CaCl_2 no se observó formación de gel tras la inversión de los viales, indicando una baja capacidad de gelificación dependiente de calcio y, por lo tanto, una menor afinidad al comportamiento típico de pectinas de bajo metoxilo.

Por otro lado, en la serie con sacarosa, ajustada a pH 3 y sometida a calentamiento, se observó formación de gel en las muestras con mayores concentraciones de azúcar. Este comportamiento es característico de las pectinas de alto metoxilo, cuya gelificación depende de condiciones de medio ácido y altas concentraciones de sacarosa. Los resultados obtenidos sugieren que la pectina extraída presenta predominantemente características de pectina de alto metoxilo (HM).

5.3 Hidrogel pectina/quitosano

Con el objetivo de obtener una mezcla homogénea y favorecer la formación del hidrogel híbrido pectina-quitosano, se evaluaron diferentes parámetros experimentales durante el proceso de preparación. Entre las variables modificadas se incluyeron la concentración de los polímeros, proporción de mezcla, pH, temperatura y presencia de agentes entrecruzantes.

Referencias

- Antonino, R. S. C. M. D. Q., Fook, B. R. P. L., Lima, V. A. D. O., Rached, R. Í. D. F., Lima, E. P. N., Lima, R. J. D. S., Covas, C. A. P., & Fook, M. V. L. (2017). Preparation and characterization of chitosan obtained from shells of shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Marine Drugs*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/md15050141>
- Deng, Y., Wen, C., & Wang, F. (2026). Citric Acid-Modified Chitosan Hydrogel Loaded With Shikonin Promotes Skin Wound Healing. *Journal of Burn Care and Research*, 47(1), 334–340. <https://doi.org/10.1093/jbcr/iraf175>
- Li, D. qiang, Wang, S. ya, Meng, Y. jie, Guo, Z. wei, Cheng, M. mei, & Li, J. (2021). Fabrication of self-healing pectin/chitosan hybrid hydrogel via Diels-Alder reactions for drug delivery with high swelling property, pH-responsiveness, and cytocompatibility. *Carbohydrate Polymers*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118244>
- Maciel, V. B. V., Yoshida, C. M. P., & Franco, T. T. (2015). Chitosan/pectin polyelectrolyte complex as a pH indicator. *Carbohydrate Polymers*, 132, 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.047>
- Mohammed, M. H., Williams, P. A., & Tverezovskaya, O. (2013). Extraction of chitin from prawn shells and conversion to low molecular mass chitosan. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.021>
- Sharma, P., Vishvakarma, R., Gautam, K., Vimal, A., Kumar Gaur, V., Farooqui, A., Varjani, S., & Younis, K. (2022). Valorization of citrus peel waste for the sustainable production of value-added products. In *Bioresource Technology* (Vol. 351). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127064>