

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **DEVELOPMENT OF FOOD HYDROGELS WITH ANDEAN PURPLE CORN (ZEA MAYS L.) EXTRACTS AND CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM) POLYSACCHARIDE: RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Cecilia Alejandra Arenas Herrera**

**Código 20182263**

**Asesor**

**Nancy Ascención Chasquibol Silva**

Lima – Perú

Mayo de 2025

**Propuesta**  
**Carrera Ingeniería Industrial**

**Título**

Development of Food Hydrogels with Andean Purple Corn (*Zea mays L.*) Extracts and Cushuro (*Nostoc sphaericum*) Polysaccharide: Rheological Characterization

**Autor(es)**

Cecilia Alejandra Arenas Herrera  
[20182263@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20182263@aloe.ulima.edu.pe)  
Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú

Nancy Ascención Chasquibol Silva  
[nchasqui@ulima.edu.pe](mailto:nchasqui@ulima.edu.pe)  
Grupo de Investigación en Alimentos Funcionales, Universidad de Lima, Perú

**Resumen:** El maíz morado andino (*Zea mays L.*) es un antiguo cultivo nativo peruano que se utiliza actualmente en la gastronomía peruana. Cushuro es una cianobacteria procedente de los lagos andinos del Perú. Tienen cantidades considerables de compuestos bioactivos que pueden mejorar las propiedades fisicoquímicas de los alimentos. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades reológicas y funcionales de hidrogeles alimentarios desarrollados con extractos de maíz morado, pulpa de fruto de tuna roja y polisacáridos de cushuro (PC). Se utilizaron polisacáridos solubles en ácido obtenidos de la variedad *Nostoc sphaericum* de Ancash, Perú, así como extractos de maíz morado peruano. Se elaboraron hidrogeles alimentarios en concentraciones que oscilaron entre 0,5% y 3,5% (p/v) dispersando los polisacáridos en una relación extracto/pulpa (v/v) de 4:1. Asimismo, se realizaron muestras control con goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) (GT). El efecto de la concentración de hidrocoloide (0,5; 1,5; 2,5; 3,5%) sobre las propiedades reológicas se evaluó mediante un diseño unifactorial. Los hidrogeles PC y GT exhibieron una naturaleza de fluidificación por cizallamiento, un límite elástico dependiente de la concentración (0,02–29,91 Pa; 2,01–508,39 Pa) y una alta actividad antioxidante y contenido fenólico. La adición de PC reveló una regeneración estructural lenta, mientras que adicionar GT mostró tixotropía y curvas de histéresis simétricas. Los geles de PC mostraron una estructura fluida con propiedades viscoelásticas ( $G'' > G'$ ) incluso en la concentración más alta evaluada (3,5%), a diferencia del hidrogel con GT que tenía una estructura más sólida (tipo gel) ( $G' > G''$ ) en baja concentración (1,5%). Estos resultados mostraron un perfil reológico adecuado y propiedades deseables del desarrollo de hidrogeles alimentarios para la industria y el procesamiento de alimentos funcionales.

**Palabras Clave:** compuestos bioactivos, cushuro, hidrogeles alimentarios, polisacáridos, maíz morado, reología

**Abstract:** Andean purple corn (*Zea mays L.*) is an ancient native Peruvian crop that is currently used in Peruvian gastronomy. Cushuro is a cyanobacteria from the Andean lakes of Peru. They have considerable amounts of bioactive compounds that can improve the physicochemical properties of foods. The objective of this research was to characterize the rheological and functional properties of food hydrogels developed with purple corn extracts, red prickly pear fruit pulp, and cushuro polysaccharide (CP). Acid-soluble polysaccharides obtained from the *Nostoc sphaericum* variety from Ancash, Peru, as well as Peruvian purple corn extracts, were used. Food hydrogels at concentrations ranging from 0.5% to 3.5% (w/v) were elaborated by dispersing the polysaccharides in a 4:1 extract/pulp (v/v) ratio. Likewise, control samples with Tara (*Caesalpinia spinosa*) gum (TG) were made. The effect of hydrocolloid concentration (0.5; 1.5; 2.5; 3.5%) on the rheological properties was evaluated using a unifactorial design. CP and TG hydrogels exhibited a shear-thinning nature, a concentration-dependent yield point (0.02–29.91 Pa; 2.01–508.39 Pa), and high antioxidant activity and phenolic content. Adding CP revealed slow structural regeneration, while TG showed thixotropy and a symmetric hysteresis loop. CP gels showed a fluid-like structure with viscoelastic properties ( $G'' > G'$ ) even in the highest concentration evaluated (3.5%), contrary to TG gel that had a more solid (gel-like) structure ( $G' > G''$ ) at a low concentration (1.5%). These results showed a suitable rheological

profile and desirable properties of the food hydrogels development for the functional food industry and processing.

**Keywords:** bioactive compounds; cushuro; food hydrogels; polysaccharide; purple corn; rheology

**Línea de investigación IDIC – ULIMA:** Innovación: tecnologías y productos

**Área y Sub-áreas de Investigación:** (13) - Diseño y desarrollo de productos

**Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS)** (2) – Hambre cero; (3) – Salud y bienestar

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El maíz morado andino (*Zea mays L.*) es una variedad de cultivo ancestral nativo del Perú que, debido a sus características nutricionales y sensoriales, sigue siendo fundamental en la gastronomía peruana. Su pericarpio y mazorca de color morado intenso, así como los extractos derivados de estos, son utilizados en la elaboración de bebidas tradicionales como la chicha de maíz morado y postres como gelatina y mazamorra a base de este maíz. Esta variedad de maíz, rica en compuestos fenólicos y elevada actividad antioxidante, posee un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos alimenticios, aportando no solo variedad de colores, sabores y texturas, sino también beneficios para la salud, lo que podría contribuir a la reducción del uso de aditivos sintéticos en la industria alimentaria.

Por otro lado, el cushuro (*Nostoc sphaericum*), una cianobacteria nativa de los lagos andinos del Perú, se destaca por sus propiedades nutricionales y bioactivas. Con un contenido significativo de proteínas ( $28,18 \pm 0,33\%$ ), hierro ( $4,76 \pm 0,08 \text{ mg/100 g}$ ) y calcio ( $377,80 \pm 1,43 \text{ mg/100 g}$ ), además de una considerable cantidad de polisacáridos con propiedades espesantes y estructurales, el cushuro presenta un potencial para el desarrollo de productos alimenticios innovadores. Sus beneficios para la salud, que incluyen efectos antitumorales y anticoagulantes, son aspectos clave que podrían ser aprovechados para la creación de productos funcionales.

La goma de tara (*Caesalpinia spinosa*), también conocida como algarroba peruana, es otro recurso natural que ha demostrado ser valioso en la industria alimentaria. Como un hidrocoloide natural, se obtiene del endospermo de las semillas de *Caesalpinia spinosa* y actúa principalmente como espesante y estabilizador en productos alimenticios. Su capacidad para modificar la reología de sistemas alimentarios complejos y crear texturas innovadoras, junto con su aceptación como aditivo alimentario, la convierte en un ingrediente clave en la formulación de nuevos productos. El uso de hidrogeles de polisacáridos, como la goma de tara, permite desarrollar soluciones alimentarias más sostenibles y adaptadas a las crecientes exigencias de los consumidores por alternativas saludables y naturales.

Este contexto resalta la necesidad de investigar y explorar de manera más profunda el potencial de estas materias primas nativas en el sector alimentario, no solo para optimizar el valor nutricional de los productos, sino también para responder a las tendencias del mercado hacia la innovación y la sostenibilidad.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar hidrogeles alimentarios con polisacáridos de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y extractos de maíz morado andino (*Zea mays L.*) para aprovechar sus múltiples propiedades, obtener un claro entendimiento, expandir sus potenciales aplicaciones y promover el uso de cultivos ancestrales y nuevas fuentes de hidrocoloides en la industria de los alimentos funcionales y procesamiento de alimentos. Para lograr este objetivo se estudiaron las propiedades dinámico-viscoelásticas, comportamiento de flujo, tixotropía, histéresis, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante entre otros aspectos del perfil reológico y funcional de los hidrogeles alimentarios formulados.

## JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene una gran relevancia en diversos ámbitos, desde lo teórico hasta lo práctico, y busca demostrar su viabilidad tanto en términos técnicos como económicos, sociales y ambientales. A través de la utilización de materias primas autóctonas del Perú como el maíz morado andino, el cushuro y la goma de tara, este proyecto ofrece soluciones innovadoras que pueden generar impactos positivos en la industria alimentaria, aportando al progreso sostenible de la región y del país.

**Teórica:** Este proyecto aporta sobre el aprovechamiento de recursos naturales nativos en la formulación de nuevos productos alimentarios. A través de la combinación de los compuestos bioactivos que se encuentran en el maíz morado, cushuro y la Tara, se estudian las interacciones de estos ingredientes en términos de sus propiedades antioxidantes, nutrientes y sus aplicaciones tecnológicas. Esto ofrece una base firme para investigaciones futuras y la creación de productos funcionales.

**Técnica:** La incorporación de estos ingredientes en formulaciones de productos innovadores, como bebidas funcionales, puede mejorar la textura y valor nutricional de los alimentos. Además, el uso de hidrocoloides como la goma de Tara y polisacáridos de cushuro en formulaciones alimentarias permite modificar la reología de los productos, optimizando sus características sensoriales y funcionales, lo que podría dar lugar a la creación de productos alimentarios diferenciados y competitivos en el mercado.

**Social:** Este proyecto tiene una dimensión social significativa, ya que fomenta el uso de recursos autóctonos y la valorización de productos nativos en la dieta peruana. Además, al generar productos con alto valor nutricional y beneficios para la salud, como los antioxidantes y los polisacáridos bioactivos, se contribuye al bienestar de la población, especialmente en comunidades locales. Asimismo, la investigación busca fortalecer la identidad cultural a través de la revalorización de productos ancestrales como el maíz morado, el cushuro y la Tara.

**Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible:** Este proyecto aporta directamente al ODS 2 "Hambre Cero" y ODS 3 "Salud y bienestar" al buscar mejorar el valor nutricional de los productos alimenticios mediante la incorporación de ingredientes funcionales. Al utilizar el maíz morado, el cushuro y la goma de tara, se puede promover una alimentación más saludable y accesible, beneficiando a poblaciones vulnerables y fomentando una dieta rica en antioxidantes y nutrientes esenciales.

## DISEÑO METODOLÓGICO

**Tipo:** Experimental

La investigación es de carácter experimental, ya que se enfocó en modificar variables específicas como la concentración de hidrocoloides (polisacárido de cushuro y goma de tara), para observar sus efectos sobre las propiedades reológicas (por ejemplo, viscosidad, punto de afluencia, entre otros) y la actividad antioxidante de los hidrogeles alimentarios.

**Enfoque:** Cuantitativo

El presente trabajo de investigación se clasifica como cuantitativo ya que implicó la medición y el análisis de variables específicas, como las propiedades reológicas, la actividad antioxidante y contenido fenólico de los hidrogeles alimentarios.

**Alcance:** Causal

Su alcance es causal debido a que se determinaron los efectos de diferentes concentraciones de hidrocoloides sobre las propiedades reológicas y la actividad antioxidante de los hidrogeles alimentarios mediante la manipulación de la concentración de polisacáridos y el análisis de los cambios resultantes en las propiedades.

**Técnicas e instrumentos utilizados:**

- Reómetro MCR92 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) y RheoCompass software (version 1.13)
- Espectrofotómetro (UV-VIS UV-1280 Shimadzu, Kioto, Japón)
- Método DPPH y Folin-Ciocalteu para análisis de antioxidantes y contenido fenólico.

**Etapas del desarrollo de la investigación:**

En la primera etapa, se llevó a cabo la extracción de las materias primas del proyecto de investigación, así como la formulación y preparación de las muestras para su análisis. En la segunda etapa se evaluó la reología de las muestras mediante un equipo reómetro MCR 92; y actividad antioxidante y contenido fenólico mediante un espectrofotómetro UV-VIS UV-1280. Finalmente, la tercera etapa fue el análisis de datos y visualización de resultados.

**Limitaciones de la investigación:**

- Variabilidad en la calidad de las materias primas
- Escalabilidad para uso industrial

## AGRADECIMIENTOS

Estoy agradecida con mi familia por su apoyo incondicional durante todo este trayecto. Su dedicación me permitió acceder a una educación de calidad y alcanzar mis metas. Asimismo, agradecer a mi asesora la profesora Nancy Chasquibol y al equipo en el Laboratorio de Alimentos Funcionales (LAF) de la ULima por su ayuda y asesoramiento constante.

## REFERENCIAS

- Chasquibol, N., Sotelo, A., Tapia, M., Alarcón, R., Goycoolea, F., & Del Carmen Perez-Camino, M. (2024). Co-Microencapsulation of Cushuro (*Nostoc sphaericum*) Polysaccharide with Sacha Inchi Oil (*Plukenetia huayllabambana*) and Natural Antioxidant Extracts. *Antioxidants*, 13(6), 680. <https://doi.org/10.3390/antiox13060680>
- Jing, P., & Giusti, M. M. (2007). Effects of Extraction Conditions on Improving the Yield and Quality of an Anthocyanin-Rich Purple Corn (*Zea mays* L.) Color Extract. *Journal Of Food Science*, 72(7). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00441.x>
- Madhujith, T., Wedamulla, N., & Gamage, D. (2021). Biological macromolecules as antioxidants. En Elsevier eBooks (pp. 139-164). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-85759-8.00006-3>

Méndez-Ancca, S., Pepe-Victoriano, R., Gonzales, H. H. S., Zambrano-Cabanillas, A. W., Marín-Machuca, O., Rojas, J. C. Z., Maquera, M. M., Huanca, R. F., Aguilera, J. G., Zuffo, A. M., & Ratke, R. F. (2023). Physicochemical Evaluation of Cushuro (*Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault) in the Region of Moquegua for Food Purposes. *Foods*, 12(10), 1939. <https://doi.org/10.3390/foods12101939>

Mezger, T. G. (2020). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers*. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:001467907>

Salvador-Reyes, R., & Clerici, M. T. P. S. (2019). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research International*, 130, 108934. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108934>

Wu, Y., Ding, W., Jia, L., & He, Q. (2014). The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Food Chemistry*, 168, 366-371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.083>

## ANEXOS.

### Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Development of Food Hydrogels with Andean Purple Corn (*Zea mays* L.) Extracts and Cushuro (*Nostoc sphaericum*) Polysaccharide: Rheological Characterization
- **Autores:** Cecilia Alejandra Arenas Herrera
- **Co autor(es):** Nancy Ascención Chasquibol Silva

### Publicación en revista

- **Nombre de la revista:** Biology and Life Sciences Forum
- **Volumen:** 37
- **Número:** 1
- **Año:** 2024
- **Pp:** 6 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo:** <https://doi.org/10.3390/blsf2024037001>

### Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** VI CONGRESO DE LA RED IA VALSE FOOD: Promoviendo la biodiversidad, sostenibilidad y seguridad alimentaria a través de los cultivos ancestrales iberoamericanos
- **Organizador:** Instituto de Investigación Científica, Universidad de Lima
- **Sede:** Auditorio O - Universidad de Lima, Perú
- **Año:** 2024
- **Pp:** 6 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo:** <https://doi.org/10.3390/blsf2024037001>

## 4% Similitud general




El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Exclusiones

► N.º de fuentes excluidas

---

### Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
  - 4%  Publicaciones
  - 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)
- 

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.