








# The Potential of Nostoc Cyanobacteria in Food Fortification: A Systematic Review with Experimental Evidence

Sol A. Rodriguez , Mayra Yameli Castillo Castillo<sup>1</sup> , Damaris Calle Ramos<sup>1</sup> , Yilbert Leyssin Crespín Guzmán<sup>1</sup> , Cinthia Elizabeth Ramos Ynga<sup>1</sup> , Eduardo Yupanqui Apolinario<sup>1</sup> , Juan Velasco Colán<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [sol.rodriguez@upn.edu.pe](mailto:sol.rodriguez@upn.edu.pe), [N00301395@upn.pe](mailto:N00301395@upn.pe), [N00215062@upn.pe](mailto:N00215062@upn.pe), [N00307912@upn.pe](mailto:N00307912@upn.pe), [N00312206@upn.pe](mailto:N00312206@upn.pe), [n00429472@upn.pe](mailto:n00429472@upn.pe)

<sup>2</sup>Universidad Peruana Cayetano Heredia, [juan.velasco@upch.pe](mailto:juan.velasco@upch.pe)

**Abstract**– The aim of this study was to identify and evaluate the incorporation of cushuro cyanobacteria as a food fortifier to improve nutrition in vulnerable populations. A systematic review was conducted following the PRISMA protocol, covering research published between 2010 and 2024, with a total of 23 studies selected. Additionally, an experimental methodology was employed, including infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM) to analyze the chemical composition and morphology of Cushuro colonies. The results classified its components into three main groups: hydrocolloids, bioactive molecules, and minerals. In fortified foods, cushuro proved to be versatile and technologically viable, significantly increasing the protein and mineral content in various products without altering organoleptic properties when used at substitution levels between 5% and 10%. Local studies reported moderate sensory acceptability (around 50%), although the intention to recommend was high (over 80%), attributed to its nutritional benefits. The main barriers identified were changes in taste and skepticism about its properties. In conclusion, cushuro emerges as a sustainable and promising resource to address nutritional challenges and promote food security in vulnerable populations.

**Keywords**– Cushuro, Nostoc spp., functional foods, fortified foods, supplement.

# El Potencial de las Cianobacterias Nostoc en la fortificación de alimentos: Una Revisión Sistemática con Evidencia Experimental

Sol A. Rodriguez <sup>1</sup>, Mayra Yameli Castillo Castillo<sup>1</sup>, Damaris Calle Ramos<sup>1</sup>, Yilbert Leyssin Crespin Guzmán<sup>1</sup>, Cinthia Elizabeth Ramos Ynga<sup>1</sup>, Eduardo Yupanqui Apolinario<sup>1</sup>, Juan Velasco Colán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [sol.rodriguez@upn.edu.pe](mailto:sol.rodriguez@upn.edu.pe), [N00301395@upn.pe](mailto:N00301395@upn.pe), [N00215062@upn.pe](mailto:N00215062@upn.pe), [N00307912@upn.pe](mailto:N00307912@upn.pe), [N00312206@upn.pe](mailto:N00312206@upn.pe), [n00429472@upn.pe](mailto:n00429472@upn.pe)

<sup>2</sup>Universidad Peruana Cayetano Heredia, [juan.velasco@upch.pe](mailto:juan.velasco@upch.pe)

**Resumen—** El objetivo de este estudio fue identificar y evaluar la incorporación de las cianobacterias *cushuro* como fortificante alimentario para mejorar la nutrición en poblaciones vulnerables. Se realizó una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA, abarcando investigaciones publicadas entre 2010 y 2024, con un total de 23 estudios seleccionados. Además, se empleó una metodología experimental que incluyó espectroscopía infrarroja (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar la composición química y la morfología de las colonias de *cushuro*. Los resultados permitieron clasificar sus componentes en tres grupos principales: hidrocoloides, moléculas bioactivas y minerales. En alimentos fortificados, el *cushuro* demostró ser versátil y tecnológicamente viable, incrementando significativamente los contenidos de proteínas y minerales en diversos productos, sin alterar sus características organolépticas cuando se utilizó en niveles de sustitución entre 5% y 10%. Los estudios locales reportaron una aceptabilidad sensorial media (alrededor del 50%), aunque la intención de recomendación fue alta (superior al 80%), atribuida a sus beneficios nutricionales. Las principales barreras identificadas fueron los cambios en el sabor y cierto escepticismo sobre sus propiedades. En conclusión, el *cushuro* emerge como un recurso sostenible y prometedor para enfrentar los desafíos nutricionales y promover la seguridad alimentaria en poblaciones vulnerables.

**Palabras clave—***Cushuro*, *Nostoc* spp., alimentos funcionales, alimentos fortificados, suplemento.

## I. INTRODUCCIÓN

El consumo de algas, conocido como ficofagia, se remonta a miles de años y está presente en diversas culturas de todo el mundo. Este hábito estuvo inicialmente asociado con el consumo de las macroalgas debido a su facilidad de recolección y manipulación. Algunas especies de microalgas, como *Arthrospira* spp. (espirulina) y *Nostoc* spp. (“*Cushuro*”), también han sido consumidas, especialmente en regiones de América del Sur y Asia, ya sea como alimento básico o como manjar en ciertas tradiciones culinarias [1]. Incluso, las microalgas no solo se valoran como ingredientes culinarios, sino también como una fuente rica en compuestos bioactivos de alto valor [2, 3]. Por ejemplo, estudios reportan que el “*Cushuro*” (*Nostoc sphaericum*), un alga esférica y gelatinosa, alberga numerosos compuestos altamente nutritivos, destacándose por su contenido de proteínas y hierro, formando colonias tanto macroscópicas como microscópicas en ambientes acuáticos de los Andes peruanos, a altitudes superiores a 3000 msnm, dispuestas en áreas con lagunas de

aguas cristalinas y ricas en nitrógeno. Las condiciones severas en su crecimiento, permiten predecir la formación de polisacáridos especiales (exopolisacáridos), diseñados para soportar condiciones de extremas temperaturas; con altas capacidades de absorción de agua [1, 4]. Además, estas algas cuentan con compuestos fenólicos que le da una alta capacidad antioxidante y sirve a su vez como mecanismo de protección ante radiación UV [5, 6]. En general, los componentes presentes en estos organismos existen gracias a la evolución de las microalgas a lo largo de miles de millones de años de cambios ambientales, que ha favorecido el desarrollo metabólico para sostener funciones biológicas esenciales frente a entornos diversos [7].

Estudios desarrollados en Perú han reportado que el “*Cushuro*” (*N. sphaericum* y *N. commune*) tiene un contenido entre 35% y 42% de proteínas, así como lípidos, minerales esenciales (Ca, P, Fe, Na, K), aminoácidos esenciales y vitaminas B1, B2, B5 y B8 [8]. De igual manera, se ha descrito el valor nutricional de la cianobacteria comestible *Nostoc sphaericum*, reportándose valores sobre contenido de proteínas ( $28.18 \pm 0.33\%$ ), carbohidratos ( $62.07 \pm 0.69\%$ ), grasa ( $0.71 \pm 0.02\%$ ), fibra ( $0.91 \pm 0.02\%$ ), cenizas ( $7.68 \pm 0.10\%$ ), humedad ( $0.22 \pm 0.01\%$ ), calcio ( $377.80 \pm 1.43$  mg/100g), hierro ( $4.76 \pm 0.08$  mg/100g), concluyendo que los niveles de proteína, calcio y hierro superan a varios de los principales alimentos consumidos diariamente [9]. Es importante mencionar que el “*Cushuro*” ha sido utilizado durante siglos por los pueblos nativos andinos, especialmente en épocas de escasez. Sin embargo, recientemente ha comenzado a revalorizarse como un ingrediente en la cocina contemporánea con grandes aportes nutricionales y culinarios. Incluso destacados cocineros internacionales como Ángel León, Gastón Acurio y Virgilio Martínez vienen incorporándolo en sus platos, promoviendo ideales como la sostenibilidad, la autenticidad cultural y el exotismo [2].

Por otro lado, se estima que a nivel mundial la anemia y la desnutrición afectan a 293,1 millones de niños en edad preescolar, debido a la ingesta insuficiente de alimentos ricos en proteínas, minerales y aminoácidos esenciales según lo informado por la Organización Mundial de la Salud en el año 2017 [10]. La anemia por deficiencia de hierro continúa siendo uno de los problemas de salud pública más relevantes en países de ingresos bajos y medios, con prevalencias que

superan el 40% en niños menores de cinco años en regiones andinas del Perú. Específicamente, la deficiencia de hierro y la anemia viene afectando especialmente a mujeres y niñas [11]. En el Perú, la desnutrición y la anemia son problemas muy críticos en específico en niños de 6 a 35 meses de vida. Las tasas más altas de anemia infantil a nivel nacional se encuentran en Puno con 69,9%, continuando Cuzco con 57,4% y otros departamentos con elevadas estadísticas de anemia como Huancavelica, Ucayali, Loreto, Junín, Madre de Dios y Pasco [9]. Esto destaca la urgencia de implementar estrategias para combatir la anemia y la desnutrición infantil en las regiones más vulnerables del Perú.

Para resolver esta problemática, una opción es el desarrollo de nuevos productos alimenticios, especialmente aquellos conocidos como “alimentos fortificados”, y el “Cushuro” se presenta como un fortificante interesante y accesible, especialmente para regiones Andinas. Por ello, cabe destacar el amplio potencial biotecnológico del *Nostoc spp.*, aunque su uso como alimento y derivados aún enfrenta problemas de aceptación en el mercado global [12]. No obstante, se han desarrollado estudios utilizando “Cushuro” (*Nostoc sphaericum* o *Nostoc commune*) como fuente de alto valor nutricional. Por ejemplo, un estudio reportó la elaboración de gomitas compuestas de *Nostoc sphaericum* y arándanos evaluando tres niveles de sustitución parcial de gelatina sin sabor por harina de *Nostoc sphaericum*: 35% (T1), 45% (T2) y 55% (T3), reportando que el contenido de proteínas aumentó de 3,58% en T1 a 3,85%; además, el contenido de carbohidratos, la textura y el color se ven afectados con niveles altos de harina de *Nostoc sphaericum* (>45%), lo que sugiere la necesidad de un equilibrio en la formulación de alimentos fortificados [13]. Adicionalmente, se publicó un estudio que optimiza la formulación de la pasta utilizando harinas de pseudocereales germinados (quinua, kiwicha) y “Cushuro” (*Nostoc sphaericum*), utilizando un diseño de mezcla compuesta para formular una pasta a base de una mezcla ternaria de harina de trigo, pseudocereal germinado y “Cushuro”, realizándose dos formulaciones PQC (79 % harina de trigo, 13 % quinua germinada, 8 % *Nostoc sphaericum*) y PKC (70 % harina de trigo, 15 % kiwicha germinada, 15 % *Nostoc sphaericum*). Estas pastas optimizadas mostraron un contenido reducido de almidón y aumentaron significativamente los niveles de fibra dietética, proteína, grasa, minerales (K, Na, Fe, Zn, Mg, Mn, Ca), y compuestos bioactivos como fenólicos solubles totales, ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA). El aumento de GABA sugiere beneficios en el sistema nervioso, mientras que los compuestos fenólicos pueden ofrecer propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, además, la reducción del índice glucémico favorece la regulación de la glucosa en sangre [14]. Adicionalmente, se ha reportado el uso de hidrocoloides extraídos de las especies *Nostoc commune* y *Nostoc sphaericum* como sustitutos de estabilizantes alimentarios tradicionales como carboximetilcelulosa (CMC). Se reportó que los hidrocoloides del *Nostoc* mostraron una menor sensibilidad a la temperatura en su índice de consistencia que la CMC, lo que sugiere su estabilidad en

aplicaciones alimentarias como un aditivo viscoso promotor en la preparación de néctares [15]. También, se reportó una investigación de un yogur a base de suero de leche combinado con mango y “Cushuro” (*Nostoc sphaericum*), utilizando tecnologías de impresión 3D para incorporar esferas de gel de mango, evaluando diversas formulaciones de yogur con estabilizadores (goma-pectina y CMC) y diferentes presentaciones (mermelada de mango con “Cushuro” mixto o separado y esferas impresas en 3D). El estudio reporta haber logrado un perfil cercano al ideal del consumidor [16]. Así mismo, se realizó otro estudio con el “Cushuro” como comicroencapsulación de aceites esenciales en polisacárido “Cushuro” (*Nostoc sphaericum*) [17] y películas comestibles elaboradas a partir de una matriz polimérica compuesta por polisacáridos de *Nostoc* y almidón modificado de papa nativa andina [18]. En conclusión, el “Cushuro” (*Nostoc spp.*), un recurso abundante en Perú y en países andinos, se ha destacado como una fuente altamente nutritiva debido a su elevado contenido de proteínas, minerales y compuestos bioactivos, convirtiéndolo en una alternativa interesante para enfrentar problemas de alimentación mediante el uso de recursos abundantes y sostenibles. Por ello el presente estudio tiene como objetivo identificar y evaluar la incorporación de cianobacterias “Cushuro” como agente fortificante en productos alimentarios que contribuyan a mejorar la nutrición en las poblaciones vulnerables. Para ello se han evaluado estudios reportados entre los años 2010 al 2024 por distintos investigadores a nivel mundial y a nivel local (Perú). Adicionalmente, se reporta información experimental que respalda la información recopilada en el estudio.

## II. METODOLOGÍA

### A. Metodología de revisión sistemática

La revisión sistemática de literatura (RSL) es un estudio que permite recopilar y organizar información de manera ordenada y eficiente. El estudio inicia con una “Pregunta de Investigación” que establece el horizonte y alcance del estudio. La estructura de la revisión contempla una estrategia de búsqueda y selección de artículos. La búsqueda se realiza en motores de búsqueda, mientras que la selección de artículos se realiza en base a criterios de inclusión y exclusión. Con el desarrollo de este protocolo se promueve una selección de artículos de alta calidad sobre temas de interés y un posterior análisis crítico de la información [19, 20].

Para esta revisión sistemática se realizó una búsqueda bibliográfica según el protocolo de exploración y selección de estudios. La búsqueda de la información se realizó en los siguientes: motores de búsqueda: SCOPUS (<https://www.SCOPUS.com>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>), Google Académico ([scholar.google.com](https://scholar.google.com)) y Scielo (<https://scielo.org/es/>), dado el carácter multidisciplinario de estas plataformas, la disponibilidad de los campos de título y resumen, y la posibilidad de realizar búsquedas combinadas. Adicionalmente, se utilizó literatura gris, específicamente tesis obtenidas del repositorio RENATI

(<https://renati.sunedu.gob.pe/>) por tratarse de un tema de recursos locales en Perú.

Como primer paso, se planteó la pregunta de investigación de la RSL:

“¿Qué potenciales aplicaciones tienen las cianobacterias del género *Nostoc* para la elaboración de alimentos fortificados?”

Después de ello, se estableció la estrategia PICO, (Problema, Intervención, Comparación y Outcomes- resultados), la cual se visualiza en la Tabla 1. Con ello se plantean las preguntas específicas de investigación. Además, fue aplicada en la selección de búsqueda, dichas preguntas se visualizan en la Tabla 1.

TABLA 1  
 Preguntas y dimensiones para el marco PICO

	Pregunta	Dimensión
P	¿Qué cianobacterias de la especie <i>Nostoc</i> se han empleado para el desarrollo de alimentos?	Identificación de especies <i>Nostoc</i>
I	¿Qué alimentos se pueden elaborar a partir de cianobacterias <i>Nostoc</i> ?	Técnicas para elaborar empleando especies <i>Nostoc</i> .
C	¿Qué características tienen los alimentos elaborados con cianobacterias <i>Nostoc</i> ?	Características de alimentos elaborados con <i>Nostoc</i> .
O	¿Qué tan eficaz resulta la aplicación de cianobacterias <i>Nostoc</i> en la elaboración de alimentos fortificados?	Nutrientes que aportan las especies <i>Nostoc</i> en alimentos.

Elaboración propia

Tras la definición de las preguntas de investigación, se establecieron las palabras claves (Tabla 2) para cada dimensión. Junto con ello se estableció una ecuación de búsqueda la cual se introdujo en la plataforma SCOPUS.

TABLA 2  
 Palabras claves seleccionadas.

	Palabras claves
P	nostoc OR "nostoc commune" OR "sphaericum" OR "nostoc sphaericum" OR "cushuro" OR "blue-green cyanobacteria" OR "lullucha" OR "llayta" OR "murmunta" OR "nostoc sp." OR nostocaceae
I	flour OR food OR additive OR "bakery" OR "supplementation" OR "dietary improvement" OR supplement OR "fortified food" OR "supplemented food" OR addition
C	"dietary improvement" OR "functional food" OR "fortified flour" OR "Enriched flour" OR flour OR "enriched food" OR "supplemented food" OR "fortified food"
O	efficiency OR nutrition OR micronutrients OR protein OR "protein content" OR vitamins OR minerals

Elaboración propia

Ecuación de búsqueda:

( TITLE-ABS-KEY ( nostoc OR "nostoc commune" OR "sphaericum" OR "nostoc sphaericum" OR "cushuro" OR "blue-green cyanobacteria" OR "lullucha" OR "llayta" OR "murmunta" OR "nostoc sp." OR nostocaceae ) AND TITLE-ABS-KEY ( flour OR food OR additive OR "bakery" OR "supplementation" OR "dietary improvement" OR supplement OR "fortified food" OR "supplemented food" OR addition ) AND TITLE-ABS-KEY ( efficiency OR nutrition OR micronutrients OR protein OR "protein content" OR vitamins OR minerals ) AND TITLE-ABS-KEY ( "dietary improvement" OR "functional food" OR "fortified flour" OR "Enriched

flour" OR flour OR "enriched food" OR "supplemented food" OR "fortified food" ) )

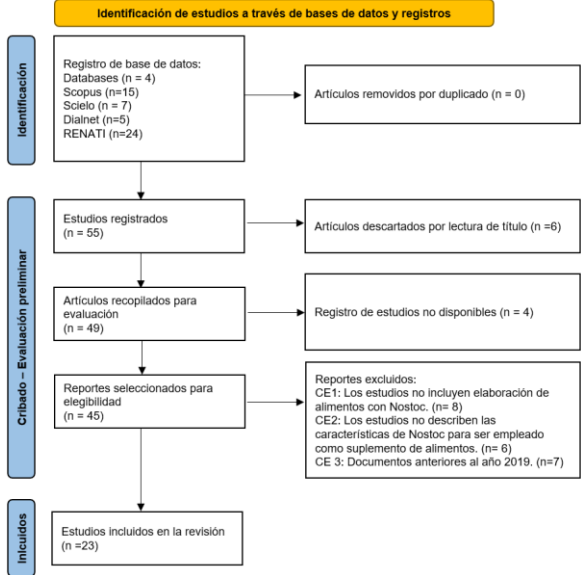
Como se menciona líneas arriba, la ecuación de búsqueda se introdujo en la plataforma SCOPUS; mientras que para las otras plataformas se emplearon diversas combinaciones para la búsqueda de artículos. Las palabras claves empleadas para la búsqueda se colocaron tanto en idioma inglés como español y se hizo énfasis en la búsqueda dentro del título, resumen y palabras claves.

Para la selección de artículos, se empleó la metodología de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que permite articular la selección de artículos en base a criterios de inclusión (CI) y exclusión (CE), asegurando transparencia y replicabilidad. Los criterios se muestran en la Tabla 3. En la Fig. 1 se muestra el esquema de búsqueda, selección y elección de información. De 55 estudios encontrados, se seleccionaron 23 para su análisis.

TABLA 3  
 Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión (CI)	
CI 1	Los estudios incluidos deben abordar el tema de elaboración de alimentos con <i>Nostoc</i> .
CI 2	Los estudios deben aplicar y/o describir los beneficios del <i>Nostoc spp.</i>
CI 3	Los estudios incluidos deben reportar resultados estadísticos sobre la aplicación de estrategias alimenticias empleando <i>Nostoc spp.</i>
Criterios de Exclusión (CE)	
CE 1	Los estudios no incluyen elaboración de alimentos con <i>Nostoc</i> .
CE 2	Los estudios no describen las características de <i>Nostoc</i> para ser empleado como suplemento de alimentos.
CE 3	Documentos anteriores al año 2010.

Elaboración propia



Elaboración propia

Fig. 1. Esquema PRISMA para la identificación de estudios.

B. Desarrollo experimental

Adicionalmente, para respaldar la información de la revisión de literatura, se han realizado tres experimentos de laboratorio con el fin de justificar la información reportada. Se

recolectaron colonias de “Cushuro” (*Nostoc spp.*) proveniente del lago Querococha, Perú (9°42'55.9"S, 77°19'27.6"W), se lavaron y almacenaron a 2°C. Se tomaron unas muestras de colonias y se secaron por liofilización previo a su estudio, evitando interferencias en el análisis y preservando la estructura de la muestra. Posteriormente, se realizó un estudio por espectroscopía infrarroja (FTIR) a distintas partes de una colonia de “Cushuro”. Para el análisis se utilizó un equipo Perkin Elmer SpectrumOne equipado con accesorio ATR (attenuated total reflectance). Para cada muestra, se realizaron 32 barridos a una resolución de 4 cm<sup>-1</sup> en un rango de número de onda de 4000 a 500 cm<sup>-1</sup>.

Además, para el estudio de la morfología de las muestras de “Cushuro” se empleó un microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 200 en alto vacío (voltaje 25kV, distancia de trabajo 9.9-10.7 mm). Las muestras se colocaron en soportes y se observaron sin recubrimiento. El equipo cuenta con un sistema de rayos X de energía dispersiva (EDX) para análisis químico.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Resultados de la revisión sistemática

Las algas o cianobacterias *Nostoc* han demostrado un alto potencial funcional y biotecnológico. En Perú, estas algas son conocidas como “Cushuro” y son organismos abundantes en cuerpos de agua de zonas andinas [21, 22]. Diversos estudios han explorado sus propiedades bioactivas, aplicaciones alimenticias, beneficios para la salud y uso en la industria farmacéutica y cosmética [23]. Principalmente, se destacan sus efectos antioxidantes, hepatoprotectores, antiglicucativos y antiobesidad, que están relacionados con su composición rica en carotenoides, ficobiliproteínas, polisacáridos y otros compuestos bioactivos [24, 25]. En la Tabla 4 se muestra un resumen de 10 estudios recopilados a partir de selección de artículos en motores de búsqueda, y se pueden reconocer tres ámbitos de aplicación de “Cushuro”: salud, alimentos funcionales y biotecnología.

En el ámbito de la salud, se ha demostrado que el extractos de Cushuro obtenidos por etanol ayudan a reducir el peso corporal, los triglicéridos, el colesterol LDL y la acumulación de lípidos, lo que lo convierte en una alternativa nutricional para combatir la obesidad y mejorar los perfiles lipídicos [26]. También presenta un efecto hepatoprotector, que se traduce en una reducción de triglicéridos y una conservación de la estructura hepática frente a dietas altas en sacarosa. Estas propiedades están asociadas con su capacidad antioxidante y antiinflamatoria, reforzando las defensas celulares frente al estrés oxidativo [25, 27].

En la industria alimentaria, por ejemplo, hidrocoloides extraídos de las algas *Nostoc commune* se han utilizado como agentes estabilizadores, espesantes y aglutinantes debido a su capacidad higroscópica [28]. Además, la incorporación de gel de “Cushuro” en productos como pastas [14], yogures [16] y quesos [29] no solo mejora su valor nutricional, aumentando los niveles de proteínas, fibra dietética y minerales, sino que también extiende su vida útil al actuar contra el crecimiento microbiano.

Desde una perspectiva biotecnológica, el “Cushuro” destaca por su alta eficiencia en la producción de biomasa bajo diferentes condiciones de cultivo. Su cultivo no solo permite generar

pigmentos naturales como la ficoeritrina y la ficocianina [29], útiles en la industria alimentaria y cosmética, sino que también proporciona compuestos con propiedades antioxidantes y funcionales que tienen aplicaciones tanto en la alimentación como en la farmacología [27, 29].

TABLA 4  
Resumen de estudios recopilados en las plataformas Scielo y SCOPUS.

Base de datos	Título del artículo científico	Hallazgos	Fuente
Scielo	Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica (2014)	Recopilación de datos de fuentes reconocidas, internacionales y locales, buscando una aplicación práctica más que información especializada.	[3]
Scielo	Identificación de cianobacterias en suelos de la región noreste de la provincia de Córdoba, Argentina (2022)	Caracterizar las comunidades de cianobacterias presentes en suelos del noreste de la provincia de Córdoba, comparando suelos con pasturas implantadas y en condiciones prístinas.	[30]
SCOPUS	Effect of phycocyanin and phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of refrigerated low-fat yogurt and cream cheese (2013)	Se extrajo ficoeritrina (PE) y ficocianina (PC) (ficobiliproteínas cianobacterianas) de líneas <i>Nostoc sp.</i> Los quesos crema y los yogures bajos en grasa enriquecidos con PE o PE + PC tuvieron la mayor actividad antioxidante y el menor número de bacterias psicófilas y mohos, y recuentos de levaduras al final del período de prueba. Por lo tanto, la adición de estas proteínas en estos alimentos lácteos puede considerarse una alternativa novedosa para la industria de alimentos.	[31]
SCOPUS	Ultrasonic-assisted extraction of a low molecular weight polysaccharide from <i>Nostoc commune</i> Vaucher and its structural characterization and immunomodulatory activity (2014)	Se extrajeron polisacáridos de <i>Nostoc commune</i> por ultrasonido con un rendimiento de 8.07 mg/g de cianobacteria. El polisacárido (NCEP) exhibió importantes actividades de eliminación de radicales DPPH e hidroxilo, y obvios efectos inmunomoduladores en las células RAW264.7. En conclusión, el NCEP puede considerarse un agente inmunitario tanto en la industria alimentaria como en la farmacéutica.	[32]
SCOPUS	Enhancing Nutritional Profile of Pasta: The Impact of Sprouted Pseudocereals and Cushuro on Digestibility and Health Potential (2016)	En este estudio, se formularon varios prototipos de pasta complementando harina de trigo blanco con pseudocereales germinados (quinua y kiwicha) y harina de cushuro. El enriquecimiento de la pasta con una combinación de quinua germinada (13%) y cushuro (8%) y kiwicha germinada (15%) y cushuro (15%) dio como resultado niveles significativamente más altos de proteína, grasa, fibra dietética soluble y contenido de cenizas en comparación con la pasta de trigo de control. Este estudio abre vías para futuras investigaciones sobre la incorporación fuentes microbianas únicas como el cushuro en diversos productos alimenticios.	[33]
SCOPUS	The production of biomass and phycobiliprotein pigments in filamentous cyanobacteria: the impact of light and carbon sources (2017)	Se encontró que las cepas de <i>Nostoc</i> bajo condiciones de cultivo con fuentes de carbono orgánico, como glicerol y glucosa, mostraron un incremento significativo en la producción de biomasa y de pigmentos ficobiliproteicos, en particular la ficoeritrina (PE). Estos pigmentos no solo son útiles como colorantes naturales para alimentos, sino que también poseen propiedades antioxidantes y funcionales. Además, se destacó que el cultivo de <i>Nostoc</i> en condiciones de fijación de nitrógeno es energéticamente eficiente.	[24]

Base de datos	Título del artículo científico	Hallazgos	Fuente
SCOPUS	Antioxidative and antiglycative properties of mycosporine-like amino acids-containing aqueous extracts derived from edible terrestrial cyanobacteria (2020)	Se evaluaron los extractos acuosos derivados de <i>N. commune</i> con respecto a sus propiedades antioxidantes y antiglicativas. La actividad antioxidante fue significativamente mayor en las colonias de <i>N. commune</i> aisladas del campo que en los extractos de colonias cultivadas en el laboratorio. El contenido de compuestos antioxidantes de los extractos, incluidos los compuestos fenólicos y las ficolilproteínas, se correlacionó con su poder antioxidante. <i>N. commune</i> puede tener propiedades beneficiosas para aplicaciones alimentarias funcionales, tanto al prevenir el estrés oxidativo como al suprimir la formación de productos finales de glicación avanzada.	[27]
SCOPUS	Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae ( <i>Nostoc sphaericum</i> ) (2022)	Los ecotipos de <i>Nostoc</i> deshidratados presentan un alto contenido de proteínas y carbohidratos, lo que los hace potenciales para su uso directo como alimento funcional. En cuanto al producto secado por aspersión, se observó que presenta buena estabilidad para su uso como hidrocoloide en suspensiones. El contenido mineral presentó valores considerables de Ca (>277 mg/100 g), Mg (>19,7 mg/100 g), Fe (>7,7 mg/100 g) principalmente. El <i>nostoc</i> secado por aspersión es un material hidrocoloide con alto potencial para la industria alimentaria, como estabilizador, espesante y aglutinante, con buen valor nutricional y comportamiento tecnofuncional.	[28]
SCOPUS	Anti-Obesity Effect of <i>Nostoc commune</i> Ethanol Extract In Vitro and In Vivo (2022)	Los resultados mostraron que el extracto etanólico de <i>Nostoc</i> (NEE) tiene compuestos fitoquímicos, como polifenoles totales, flavonoides y terpenoides totales. También se demostró que el NEE suprime la proliferación celular y la acumulación de lípidos (26,9 %) en los preadipocitos 3T3-L1. Además, el NEE redujo el peso corporal (13,5 %), el peso del tejido graso (13,3 %) y los ácidos grasos libres séricos (19,4 %), los triglicéridos (14,2 %), los TC (11,8 %) y el colesterol LDL (16,4 %) en ratas. El NEE tiene potencial antiobesidad, aunque se requieren más investigaciones o experimentos clínicos.	[26]
SCOPUS	Efecto hepatoprotector del consumo de <i>Nostoc commune</i> (cushuro) frente al daño inducido por dietas ricas en sacarosa en ratones (2024)	<i>Nostoc commune</i> (cushuro) tiene un efecto hepatoprotector al reducir los niveles de triglicéridos y conservar la estructura histológica del hígado frente al daño inducido por dietas ricas en sacarosa. Ello se debería a la presencia de moléculas bioactivas que tienen actividad antioxidante y capacidad de retención de humedad, que refuerza las defensas celulares contra el estrés oxidativo.	[25]

Elaboración propia

Con base en los resultados analizados, el cushuro (*Nostoc*) tiene un impacto positivo significativo en la nutrición y la salud. Ello ha llevado a que se realicen estudios donde esta cianobacteria se ha empleado como un aditivo. Por ejemplo, en el estudio [34] se demostró que el consumo regular de alimentos complementarios elaborados con *Nostoc* ha contribuido a mejorar el estado nutricional de niños de 1 a 3 años. El estudio destaca que, a pesar de las condiciones de pobreza y la dieta limitada de los niños participantes, la incorporación del *Nostoc* como suplemento alimenticio mejoró sus indicadores de salud. Asimismo, Corpus-Gomez et al. [8] explica que el “Cushuro”

(*Nostoc sphaericum*) es un alimento nutritivo, rico en proteínas, hierro, calcio y vitaminas del complejo B y, actualmente, es reconocido por sus aplicaciones en la salud y la industria alimentaria. Por otro lado, se ha reportado que el consumo de cushuro no solo combate la anemia y la desnutrición, sino que también aporta aminoácidos esenciales, fortalece el sistema músculo-esquelético, y mejora la salud general [12]. Los estudios recopilados indican que el “Cushuro” se perfila como un recurso versátil y sostenible que puede contribuir significativamente a mejorar la nutrición, la salud y las prácticas industriales sostenibles.

Cabe mencionar que, en los últimos 20 años la oferta de alimentos más disponibles en Perú sigue siendo los alimentos ricos en carbohidratos. Para el 2022, se estimó una dieta de 66% de carbohidratos, 22% de lípidos y 12.55% de proteínas. En comparación con 20 años atrás, donde el nivel de carbohidratos lideraba un 72% de las calorías, esta oferta ha mejorado. Sin embargo, el mercado aún no está ofertando productos de mejores niveles de proteínas que permitan llegar a un nivel óptimo de 15% establecido por la OMS [35, 36]. Por lo tanto, el desarrollo de productos con altos niveles de proteínas es un plus, y el Cushuro podría fácilmente suplir esa deficiencia. Por otro lado, en Perú existe una gran preocupación sobre los efectos adversos que causa la deficiencia de hierro, especialmente en niños menores a 1 año, incluso los porcentajes de anemia entre niños de 6 a 35 meses es de 42.4% (2023) [37]. Aunque las causas de la anemia pueden ser diversas, existen esfuerzos por crear alimentos fortificados con hierro tales como bebidas lácteas, néctares y cereales para reducir el riesgo de anemia infantil [38]. Actualmente, la tendencia es priorizar vehículos alimentarios con mayor alcance y de amplia disponibilidad.

Como se ha mencionado en la sección de introducción, el empleo del “Cushuro” está muy arraigado en la cultura andina del Perú. Por tanto, en la Tabla 5 se muestran 13 trabajos de grado se enfocan en utilizarlo para elaborar diversos alimentos funcionales. El análisis de las tesis presentadas revela un amplio interés en el uso del “Cushuro” para el desarrollo de alimentos fortificados y productos innovadores. Las investigaciones abarcan desde panes, panetones y galletas enriquecidas con cushuro, hasta bebidas, néctares y helados con propiedades funcionales. Este enfoque resalta la versatilidad del cushuro como un ingrediente con alto valor nutricional, rico en proteínas, antioxidantes y otros compuestos bioactivos.

En los estudios que involucran panificación, como la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cushuro [39], se observan mejoras en el contenido de proteínas y cambios positivos en las características organolépticas. Del mismo modo, un panetón [40] enriquecido con cushuro ha mostrado ser una opción aceptable en términos de sabor y textura, lo que sugiere su potencial en productos de consumo masivo. En general, el empleo de cushuro aporta características nutricionales importantes sin alterar las características reológicas de la masa, que es un punto importante en la formación de red de gluten [41].

Las bebidas, como néctares [42, 43] y mermeladas [44] enriquecidas con cushuro, han demostrado que la incorporación de hidrocoloides extraídos de estas cianobacterias mejora la estabilidad y la textura de estos productos. Estas propiedades no solo mejoran la funcionalidad del alimento, sino que también agregan beneficios nutricionales, como la incorporación de antioxidantes y micronutrientes esenciales [51]. Otros productos



innovadores desarrollados en estas investigaciones son las barras alimenticias [45] y helados enriquecidos [46] con cushuro combinan su valor nutricional con otros ingredientes, como kiwicha y frutas antioxidantes, orientados a combatir problemas de salud pública como la anemia. Esto refuerza la aplicabilidad del cushuro en estrategias de fortificación alimentaria y su alineación con objetivos de mejora de la salud. Finalmente, cabe mencionar estudios donde se emplea “Cushuro” en la elaboración de diversos platos [47, 48].

En los estudios de la Tabla 5 que elaboran productos alimentarios, se evaluó la aceptación sensorial de platos dulces y salados preparados con cushuro. En general, estos estudios demuestran que la aceptabilidad en el sabor de productos de cushuro es media (ligeramente superior al 50% en estudios de panel); sin embargo, cerca del 80% de participantes recomendarían el uso de cushuro por sus nutrientes. Además, se puede concluir que el empleo de cushuro en hasta un 5 a 10% en masa en los alimentos producidos, tiene características organolépticas satisfactorias o muy satisfactorias según las encuestas realizadas en diversos productos. Es también importante destacar la necesidad creciente del mercado respecto ingredientes naturales especiales. Por ejemplo, el mercado mundial de polisacáridos y oligosacáridos crece a un ritmo de 5,82%; y el mercado de antioxidantes naturales crece aún a mayor ritmo, 6,95%. Ambos mercados muestran un importante crecimiento en el que el cushuro (en diversas presentaciones) puede ingresar [49, 50].

TABLA 5  
Resumen de estudios de tesis recopilados en la plataforma RENATI

Título	Principales hallazgos	Universidad	Fuente
Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo ( <i>triticum aestivum</i> L.) por harina de cushuro ( <i>nostoc sphaericum</i> ) en el volumen y características organolépticas del pan francés	Se desarrollaron 4 mezclas de harina de trigo con reemplazos del 5%, 10%, 15% y 20% con harina de cushuro. Incrementos mayores al 5% de sustitución provocan efectos negativos en la fermentación de pan francés, y los resultados en la encuesta de panel indican que la aceptabilidad disminuye con el incremento de harina de cushuro.	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	[39]
Grado de aceptabilidad del panetón enriquecido con cushuro o murmunta ( <i>Nostoc commune</i> ) por estudiantes de bromatología y nutrición - U.N.J.F.S.C. Huacho, Perú – 2019	Se elaboró un panetón con una proporción 1:25 de cushuro y harina de trigo. Tras un panel que valoró las características organolépticas, se concluye que 80% de los participantes indicaron que les agradó el producto y 92% lo recomendaría.	Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión	[40]
Caracterización fisicoquímica y análisis sensorial de una bebida elaborada con alga de <i>Nostoc Sphaericum</i> (Cushuro)	Se elaboró una bebida con alga de <i>Nostoc Sphaericum</i> (Cushuro) en una proporción de 10kg de cushuro (antes de pulpeo) por 100 L de agua. La bebida tuvo una densidad de 1.265 g/ml y la concentración de hierro fue 1.3899 ± 0.0139 ppm. Mediante un panel, los participantes manifestaron que el sabor era aceptable (60%) pero su apariencia era poco aceptable (80%).	Universidad Norbert Wiener	[42]

Título	Principales hallazgos	Universidad	Fuente
Determinación de las características fisicoquímicas y reológicas de un néctar de aguaymanto ( <i>Physalis peruviana</i> ) con adición de hidrocoloide de cushuro ( <i>Nostoc</i> )	Se elaboró néctar de aguaymanto ( <i>Physalis peruviana</i> ) adicionando distintas concentraciones de hidrocoloide de cushuro ( <i>Nostoc sphaericum</i> ), variando entre 0,05% y 1%, como reemplazo de CMC. La adición de hidrocoloide de cushuro no altera las características fisicoquímicas como °Brix, pH y densidad al néctar, y se determinó que la concentración de hidrocoloide disminuye el porcentaje de sedimentación y mejora las características reológicas dando la estabilidad necesaria de los néctares.	Universidad César Vallejo	[43]
Mermelada de frutas enriquecida con cushuro	Se evaluó la viabilidad de desarrollo de un producto como mermelada de frutas enriquecida con cushuro (18.3%) mediante análisis técnico, económico y nutricional.	Universidad San Ignacio de Loyola	[44]
Diseño de una barra alimenticia a base de cushuro, kiwicha, numia y miel	La combinación óptima para preparar la barra alimenticia fue de cushuro 27.6%, kiwicha 24.2%, numia 26.08%, miel-linaza 20.0%, y también agregados de azúcar 1%, aceite de coco 1% y sorbato de potasio 0.05%. Se estimó que la vida útil de la barra es de 177 días.	Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión	[45]
Calidad y características fisicoquímicas, sensorial y nutricional del helado de arándano ( <i>Vaccinium Myrtillus</i> ) y cushuro ( <i>Nostoc Sphaericum</i> )	La producción óptima de helado a base de arándano y cushuro es con 600 gr de pulpa de arándano y 400 gr de pulpa de cushuro. Esta preparación alcanza una concentración de hierro de 2.43mgFe/100g de helado. Por otro lado, la adición de cushuro influye en la viscosidad y consistencia de los helados.	Universidad Nacional del Santa	[46]
Conocimiento y aceptabilidad de platos a base de nostoc “cushuro” como alternativa alimentaria en agentes comunitarios de salud del distrito de Pueblo Libre, 2018	Se estudió aceptabilidad de platos a base de Nostoc “Cushuro” (ensalada, picante y postre) como alternativa alimentaria en Agentes Comunitarios de Salud del distrito de Pueblo Libre. Se encontró que 4 de 10 personas conocen el “Cushuro” y que la aceptabilidad fue media (45-55%) debido al escepticismo en su sabor, aunque el 45% lo consideraría por su valor nutricional.	Universidad Nacional Federico Villarreal	[47]
Evaluación de la aceptabilidad del cushuro ( <i>Nostoc sphaericum</i> ) en preparaciones culinarias dulces y saladas, por estudiantes universitarios, Lima – 2018	Se empleó cushuro deshidratado en la preparación de piñón con cushuro, chupe con cushuro, empanada con cushuro y api con cushuro (10 g en masa deshidratada y 62.5 g en masa fresca). El aporte de cushuro estuvo principalmente en el aporte de hierro y calcio. Por 4 cucharadas de cushuro seco se agregaron 919 mg de calcio y 18.5mg de hierro. Se determinó que las presentaciones culinarias saladas y dulces fueron aceptables en 74% de participantes en la evaluación sensorial.	Universidad Peruana Unión	[48]
Composición química y actividad antioxidante in vitro del extracto acuoso de <i>Nostoc sphaericum</i> (Cushuro), laguna Cushurococha – Junín	El análisis proximal en base seca del <i>N. sphaericum</i> presentó un alto porcentaje de proteínas cuyo valor fue de 32.36% y en el extracto acuoso liofilizado la proteína soluble fue de 15.1 mg/g de muestra. Los carbohidratos totales fueron de 949 ug/g. Para el extracto acuoso, el TEAC-ABTS calculado para el Nostoc fue de 0.384 ugEq Trolox/ mg extracto de muestra seca o 1.164 ugEq Trolox/mL, lo cual también evidencia un alto potencial antioxidante.	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	[51]

Título	Principales hallazgos	Universidad	Fuente
Efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro ( <i>Nostoc sphaericum</i> )	Se extrajo proteína de cushuro mediante sonicación, concentrando hasta 48% de proteína con un tiempo de sonicación de 70 min a 50°C. Además, se demostró que el extracto final tiene una gran capacidad de absorción de agua.	Universidad Nacional del Santa	[52]
Determinación del contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de un extracto de cushuro ( <i>Cyanophyceae</i> ) <i>Nostoc sp.</i>	El contenido de fenoles totales, para un extracto al 5%p/v se encontró en 2,6327 ± 0,04 mg EAG/g y el análisis de capacidad antioxidante tanto para ABTS como DPPH un valor de 2,325 ± 0,03 μmol de trolox/g y un IC50 de 0,581 mg/ml, demostrando capacidad antioxidante.	Universidad Nacional Agraria La Molina	[53]
Determinación de las características nutricionales y sensoriales de galletas fortificadas con cushuro ( <i>Nostoc sphaericum</i> Vaucher) y tarwi ( <i>Lupinus tataricus</i> Sweet)	El estudio presenta la elaboración de galletas fortificadas con cushuro y tarwi (GCT). Las galletas GCT presentaron un aporte nutricional con: 11.8 g de proteína, 6.34 mg de hierro, 15.8 g de grasa y 0.7g de fibra en 100 g de galleta, con mayor contenido de hierro al de las galletas que no emplean cushuro.	Universidad Le Cordon Bleu	[54]

Elaboración propia

En la Fig. 2 se presenta un esquema de resumen que relaciona los principales componentes del cushuro y los productos alimentarios elaborados.En resumen, las tesis analizadas reflejan un esfuerzo por explorar y validar las propiedades funcionales y tecnológicas del cushuro en la industria alimentaria. Su versatilidad como ingrediente, combinada con sus beneficios nutricionales, lo posiciona como un recurso clave en la fortificación de alimentos y el desarrollo de productos innovadores para combatir deficiencias nutricionales y mejorar la salud pública. Adicional a ello, sus propiedades antioxidantes exploradas en otros estudio [51, 55], indican que estas propiedades están ligados a la presencia de polifenoles y flavonoides. Todos los componentes estarían mezclados con el polisacárido producido por las cianobacterias. Estas innovaciones podrían integrarse con programas regionales de emprendimiento que promueven el uso de recursos locales, empoderando a comunidades agrícolas y fortaleciendo la resiliencia económica en áreas rurales. Así, el cushuro no solo representa una solución nutricional, sino también un catalizador para iniciativas regionales de innovación sostenible, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente los relacionados con hambre cero (ODS 2), salud y bienestar, y trabajo decente (ODS 3) y crecimiento económico (ODS 8).

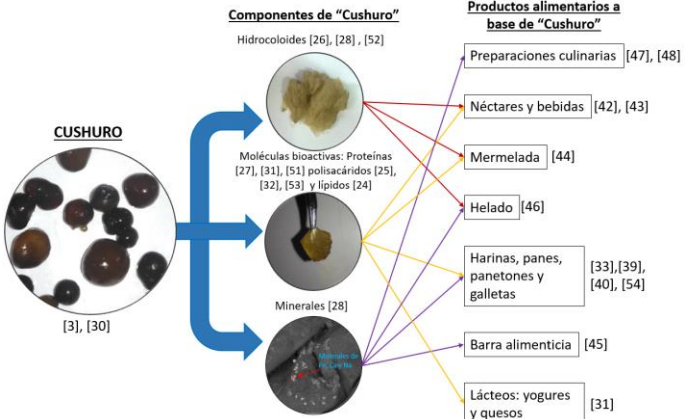


Fig. 2. Resumen componentes extraídos a partir del Cushuro y productos alimentarios desarrollados en los estudios revisados. Elaboración propia.

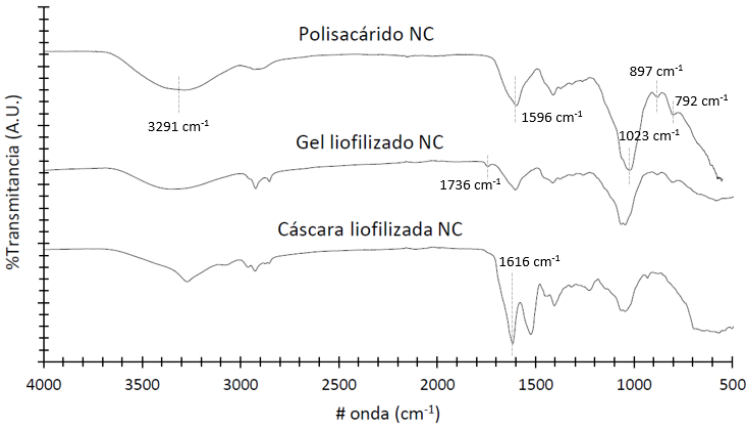


Fig. 3. Espectro FTIR para muestras de “cushuro”.

B. Evidencia experimental

Como parte de los estudios experimentales, se realizó una evaluación estructural y morfológica de colonias de “cushuro” para entender su aplicación en la elaboración de alimentos (Fig. 3). Previamente, se realizó una extracción de los exopolisacáridos de “cushuro” (Polisacárido NC) según lo reportado por Rodriguez et al. [21] y se realizó una comparativa con muestras de “cushuro” liofilizado, considerando tanto la parte interna (Gel liofilizado NC) y la parte externa (Cáscara liofilizada NC). La espectroscopía infrarroja para “Polisacárido NC” muestra una señal a 3291cm<sup>-1</sup> correspondiente a grupos hidroxilos; una señal a 1023 cm<sup>-1</sup> relacionada a vibraciones de enlaces C-O-C correspondiente a glucosa, y una señal a 1596 cm<sup>-1</sup> correspondiente a enlaces C=O de grupos carboxilo (presencia de ácido glucurónico). Una vibración a 792 cm<sup>-1</sup> se asigna a la presencia de unidades de glucopiranosas, y otra vibración a 897 cm<sup>-1</sup> correspondiente a enlaces glicosídicos tipo β. Esto indica que los exopolisacáridos de “cushuro” están formados por azúcares [56]. Dichos azúcares forman parte de los hidrocoloides presentes en los extractos presentados en las Tablas 4 y 5. Debido a la presencia azúcares, los polisacáridos son macromoléculas altamente higroscópicas por lo que actuarían perfectamente como espesantes, como sucede con otros polisacáridos como carrageninas [57] o alginatos [58]. La muestra “Gel Liofilizado NC” muestra un espectro similar a los exopolisacáridos, con la diferencia que presenta un pico a 1736 cm<sup>-1</sup> relacionado a vibraciones C=O de iones COO<sup>-</sup> propia de fosfolípidos y proteínas producidos por las cianobacterias y que se encuentran embebidos de su propio polisacárido [58, 59]. En la muestra de cáscara liofilizada se observa una señal fuerte a 1616 cm<sup>-1</sup> de una vibración - COO<sup>-</sup> (assymetric stretching) propia de anillos galactosa y manosa.

La Fig. 4 muestra una micrografía SEM de gel de “Cushuro” liofilizado. En la Fig. 4a se observan las cadenas de cianobacterias Nostoc embebidas por el exopolisacárido que estas segregan. En la Fig. 4b se aprecian las partes del gel mayor detalle. Los polisacáridos excretados cumplen una función importante para la retención de agua dentro de la colonia. De acuerdo con Rodriguez et al. [61], los polisacáridos están formadas por cadenas de azúcares que se hidratan y forman un gel (con un contenido de ~97% de agua), y el comportamiento reológico indica que las cadenas forman entrecruzamientos físicos. Un esquema de una colonia de *Nostoc spp.* se muestra en



la Fig. 5. La hidratación se debe gracias a los grupos hidrofílicos presentes en el exopolisacárido, lo que permite la absorción de agua. Por otro lado, la absorción de agua permite retener ciertos minerales, tal como se indica en la Fig. 5. El ensayo de EDX demuestra la presencia de minerales, especialmente formados por iones de sodio (Fig. 6a, 6b), calcio, hierro y manganeso, con presencia menor de iones de magnesio y potasio (Fig. 6c).

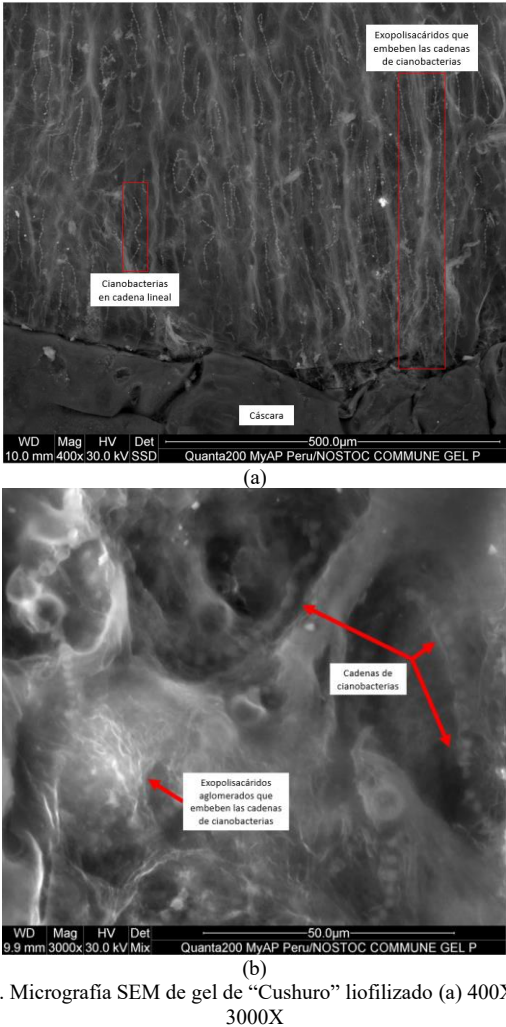


Fig. 4. Micrografía SEM de gel de “Cushuro” liofilizado (a) 400X y (b) 3000X

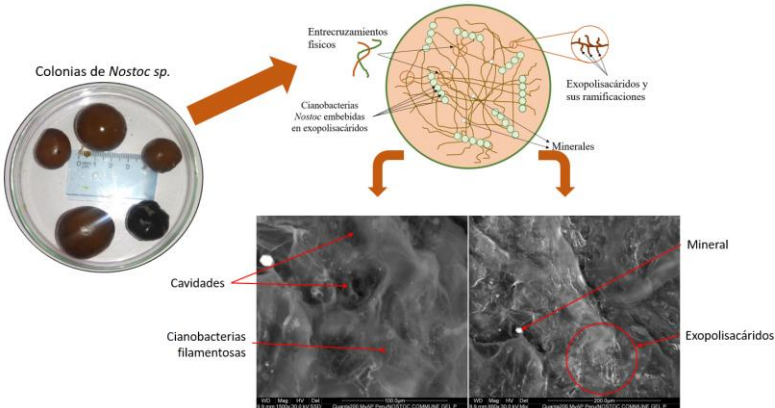


Fig. 5. Esquema de las partes de una colonia de “Cushuro” (*Nostoc spp.*). Inspirado en lo presentado por Rodriguez et al. [61]

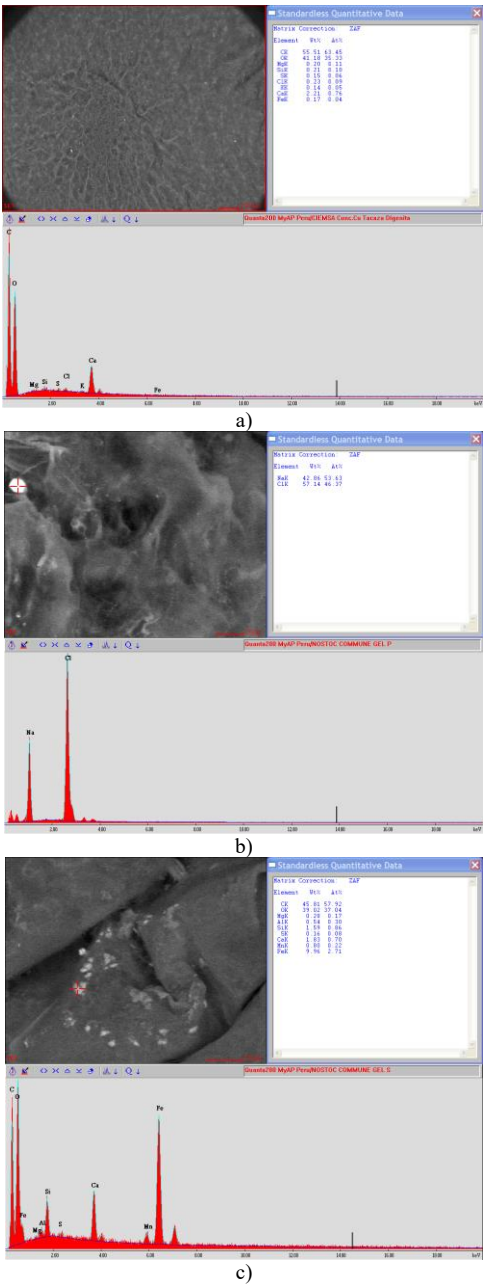


Fig. 6. a) Escaneo total EDX en muestra de “Cushuro” liofilizado. b) Detección de halita (NaCl). C) Detección de minerales de hierro, calcio y manganeso.

De acuerdo al análisis, las pruebas de espectroscopía infrarroja (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) proporcionan evidencia sobre la composición molecular del cushuro, como la presencia de exopolisacáridos y enlaces glucosídicos tipo  $\beta$ . Estos compuestos son clave para sus propiedades espesantes y estabilizantes, las cuales se destacan en estudios que evalúan su uso en productos como néctares, mermeladas y bebidas funcionales. La caracterización de los exopolisacáridos presentes en el cushuro (interior y exterior) indica que son una fuente rica en polisacáridos y proteínas, condicionándose con los estudios que resaltan su impacto positivo en alimentos fortificados. El contenido de minerales se ve reflejado en los estudios de EDX y demuestran que os minerales

(Na, K, Fe, Ca) se distribuyen tanto en el interior como en el exterior de las colonias de “Cushuro”. Por ejemplo, las investigaciones sobre panes y galletas enriquecidas con harina de cushuro muestran cómo estos nutrientes mejoran las propiedades nutricionales de los alimentos, lo que está estrechamente relacionado con la composición química validada experimentalmente. Finalmente, se resaltan los beneficios antioxidantes del “Cushuro”. Como parte del análisis, se identificaron azúcares tales como anillos de galactosa y manosa, presencia de carotenoides y proteínas que refuerzan los hallazgos sobre el potencial antioxidante [62]. Los estudios reportados destacan que los alimentos que emplean cushuro como agente fortificante representan una alternativa para fortificar vehículos alimentarios a partir de un recurso abundante y sostenible. Por otro lado, para incrementar la aceptabilidad de estos productos, es necesario enfocarse en mejorar las propiedades organolépticas y difundir conocimiento sobre las características nutricionales de este alimento.

#### IV. CONCLUSIONES

El presente estudio confirma que el cushuro (*Nostoc sphaericum* y *Nostoc commune*) posee propiedades nutricionales y funcionales que lo posicionan como un recurso valioso para la elaboración de alimentos fortificados. Los análisis estructurales y químicos realizados validan la presencia de compuestos bioactivos clave, como exopolisacáridos, proteínas, lípidos y flavonoides que contribuyen a sus propiedades antioxidantes. Asimismo, estas características, combinadas con su importante contenido de minerales (especialmente hierro y calcio), superan a algunos alimentos tradicionales y lo convierten en una alternativa sostenible para elaborar productos alimenticios fortificados, ello puede combatir problemas locales de desnutrición y anemia infantil. Por otro lado, la inclusión del cushuro en productos de consumo masivo reportada en panes, galletas y panetones, ha demostrado mejorar significativamente el contenido nutricional en cantidades adecuadas (5 a 10% en masa), especialmente en proteínas y minerales, sin comprometer las propiedades organolépticas ni las características reológicas de las masas. Asimismo, la integración del cushuro en productos como yogures, quesos, néctares y helados enriquece no solo el valor nutricional, sino también la funcionalidad de los alimentos al actuar como estabilizante, espesante y antimicrobiano natural. Por último, la versatilidad tecnológica permite la incorporación de “Cushuro” en una amplia variedad de matrices alimenticias, desde pastas y galletas hasta bebidas funcionales y productos innovadores. A pesar de tener una media aceptabilidad entre diversos encuestados, estos hallazgos resaltan la necesidad de explorar aún más su potencial biotecnológico y de fomentar su aprovechamiento en la industria alimentaria, contribuyendo al desarrollo de soluciones nutricionales efectivas y sostenibles. Futuros avances deben orientarse hacia la exportación de productos derivados del cushuro que puedan generar divisas, diversificar la oferta agroindustrial regional y promover la visibilidad de la biodiversidad peruana en el mercado global.

#### REFERENCIA

- [1] J. Wang, D. R. Salem, and R. K. Sani, “Extremophilic exopolysaccharides: A review and new perspectives on engineering strategies and applications,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 205, no. September 2018, pp. 8–26, 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.10.011.
- [2] J. L. Pérez-Lloréns, “Microalgae: From staple foodstuff to avant-garde cuisine,” *Int. J. Gastron. Food Sci.*, vol. 21, no. May, p. 100221, 2020, doi: 10.1016/j.ijgfs.2020.100221.
- [3] E. Ponce, “Nostoc: Un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica,” *Idesia*, vol. 32, no. 2, pp. 115–118, 2014, doi: 10.4067/S0718-34292014000200015.
- [4] N. A. M. Chrismas, G. Barker, A. M. Anesio, and P. Sánchez-Baracaldo, “Genomic mechanisms for cold tolerance and production of exopolysaccharides in the Arctic cyanobacterium *Phormidium* sp. BC1401,” *BMC Genomics*, vol. 17, no. 1, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1186/s12864-016-2846-4.
- [5] P. Semwal, A. Rauf, and J. Simal-Gandara, “Editorial: High altitude medicinal plants and their bioactive compounds for the prevention of oxidative stress-induced diseases and disorders,” *Front. Pharmacol.*, vol. 14, no. August, pp. 1–3, 2023, doi: 10.3389/fphar.2023.1257018.
- [6] B. J. Gogoi, M. Das, A. S. K. Singh, and S. K. Dwivedi, “Nutritional, phenolic content and antioxidant activities of vegetables introduced under protected cultivation at high altitude areas of Tawang, Arunachal Pradesh, India,” *Int. J. Hortic. Food Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 34–38, 2021, doi: 10.33545/26631067.2021.v3.i1a.58.
- [7] R. P. Rastogi, D. Madamwar, H. Nakamoto, and A. Incharensakdi, “Resilience and self-regulation processes of microalgae under UV radiation stress,” *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, vol. 43, p. 100322, 2020, doi: 10.1016/j.jphotochemrev.2019.100322.
- [8] A. Corpus-Gomez, M. Alcantara-Callata, H. Celis-Teodoro, B. Echevarria-Alarcón, J. Paredes-Julca, and L. M. Paucar-Menacho, “Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Habitat, physicochemical characteristics, nutritional composition, forms of consumption and medicinal properties,” *Agroindustrial Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 231–238, 2021, doi: 10.17268/agroind.sci.2021.02.13.
- [9] S. Mendez-Ancca *et al.*, “Physicochemical Evaluation of Cushuro (*Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault) in the Region of Moquegua for Food Purposes,” *Foods*, vol. 12, no. 1939, pp. 1–15, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/foods12101939.
- [10] K. J. Ortiz Romani, Y. J. Ortiz Montalvo, J. R. Escobedo Encarnación, L. Neyra de la Rosa, and C. A. Jaimes Velásquez, “Analysis of the multicausal model of anemia level in children 6–35 months old in Peru,” *Enferm. Glob.*, vol. 20, no. 4, pp. 441–455, 2021, doi: 10.6018/eglobal.472871.
- [11] F. M. Yunus *et al.*, “Consumption of Iron-Fortified Lentils Is Protective against Declining Iron Status among Adolescent Girls in Bangladesh: Evidence from a Community-Based Double-Blind, Cluster-Randomized Controlled Trial,” *J. Nutr.*, vol. 154, no. 5, pp. 1686–1698, 2024, doi: 10.1016/j.tjnut.2024.03.005.
- [12] S. Banerjee *et al.*, “Unraveling the potential of cyanobacteria as food and investigating its production and nutritional properties,” *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 62, no. October, p. 103421, 2024, doi: 10.1016/j.beab.2024.103421.
- [13] S. K. García Bartra, L. Lescano, G. Linares, J. Sánchez-González, M. L. Rojas, and S. Pagador, “Blueberry-based gummies with partial substitution of unflavored gelatin for cushuro (*Nostoc commune* Vauch.) flour Sweeney,” *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2021-July, pp. 19–24, 2021, doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.312.
- [14] L. M. Paucar-Menacho, J. C. Vásquez Guzmán, W. D. Simpalo-Lopez, W. E. Castillo-Martínez, and C. Martínez-Villaluenga, “Enhancing Nutritional Profile of Pasta: The Impact of Sprouted Pseudocereals and Cushuro on Digestibility and Health Potential,” *Foods*, vol. 12, no. 24, pp. 1–20, 2023, doi: 10.3390/foods12244395.
- [15] A. Torres-Maza, C. Yupanqui-Bacilio, V. Castro, E. Aguirre, E. Villanueva, and G. Rodríguez, “Comparison of the hydrocolloids *Nostoc commune* and *Nostoc sphaericum*: Drying, spectroscopy, rheology and application in nectar,” *Sci. Agropecu.*, vol. 11, no. 4, pp. 583–589, 2020, doi: 10.17268/SCI.AGROPECU.2020.04.14.
- [16] J. Liñan-Pérez *et al.*, “Sensory Development of Yogurt Based on Whey and Cushuro (*Nostoc Sphaericum*), Using Novel Consumer-Based Sensory Evaluation Methods,” 2024, doi: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5011293.
- [17] N. Chasquibol, A. Sotelo, M. Tapia, R. Alarcón, F. Goycoolea, and M. del C. Perez-Camino, “Co-Microencapsulation of Cushuro (*Nostoc sphaericum*) Polysaccharide with Sacha Inchi Oil (*Plukenetia huayllabambana*) and Natural Antioxidant Extracts,” *Antioxidants*, vol. 13, no. 6, 2024, doi: 10.3390/antiox13060680.
- [18] A. Mojo-Quisani *et al.*, “Development of Edible Films Based on *Nostoc* and Modified Native Potato Starch and Their Physical, Mechanical, Thermal, and Microscopic Characterization,” *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 17, 2024, doi: 10.3390/polym16172396.
- [19] Y. Xiao and M. Watson, “Guidance on Conducting a Systematic Literature Review,” *J. Plan. Educ. Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 93–112, 2019, doi: 10.1177/0739456X17723971.
- [20] M. R. Hossain, F. Akhter, and M. M. Sultana, “SMEs in Covid-19 Crisis and Combating Strategies: A Systematic Literature Review (SLR) and A Case from Emerging Economy,” *Oper. Res. Perspect.*, vol. 9, no. November 2021, p.

- 100222, 2022, doi: 10.1016/j.orp.2022.100222.
- [21] S. Rodríguez, F. G. Torres, and D. López, "Preparation and characterization of polysaccharide films from the cyanobacteria *Nostoc commune*," *Polym. from Renew. Resour.*, vol. 8, no. 4, 2017.
  - [22] S. Rodríguez *et al.*, "Monitoring cell substrate interactions in exopolysaccharide-based films reinforced with chitin whiskers and starch nanoparticles as cell substrates," *Int. J. Polym. Mater. Monit.*, p. Accepted Manuscript, 2017, doi: 10.1080/00914037.2017.1297942.
  - [23] K. Sato, Y. Hiraga, Y. Yamaguchi, S. Sakaki, and H. Takenaka, "Anti-Melanogenic and Anti-Oxidative Effects of *Nostoc verrucosum* (ashitsuki) Extracts," *Cosmetics*, vol. 10, no. 1, pp. 1–11, 2023, doi: 10.3390/cosmetics10010030.
  - [24] D. Kovač, O. Babić, I. Milovanović, A. Mišan, and J. Simeunović, "The production of biomass and phycobiliprotein pigments in filamentous cyanobacteria: the impact of light and carbon sources," *Appl. Biochem. Microbiol.*, vol. 53, no. 5, pp. 539–545, 2017, doi: 10.1134/S000368381705009X.
  - [25] J. I. M. Bejarano-Carhuancha, W. N. Huamani-Zavaleta, and O. Gustavo Huamán-Gutiérrez, "Hepatoprotective effect of *Nostoc commune* (cushuro) consumption against damage induced by sucrose-rich diets in mice," *Nutr. Clínica y Dietética Hosp.*, vol. 44, no. 1, pp. 180–187, 2024, doi: 10.12873/441bejarano.
  - [26] S. C. Tsai *et al.*, "Anti-Obesity Effect of *Nostoc commune* Ethanol Extract In Vitro and In Vivo," *Nutrients*, vol. 14, no. 5, pp. 1–14, 2022, doi: 10.3390/nu14050968.
  - [27] C. Korteerakul, M. Honda, S. Ngoennet, T. Hibino, R. Waditee-Sirisattha, and H. Kageyama, "Antioxidative and antiglycative properties of mycosporine-like amino acids-containing aqueous extracts derived from edible terrestrial cyanobacteria," *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, vol. 66, no. 4, pp. 339–346, 2020, doi: 10.3177/jnsv.66.339.
  - [28] D. Choque *et al.*, "Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*)," *Foods*, vol. 11, no. 11, pp. 1640–1655, 2022.
  - [29] A. Ahmadi, S. A. A. Anvar, B. Nowruzi, and L. Golestan, "Effect of phycocyanin and phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of refrigerated low-fat yogurt and cream cheese," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 27661, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-79375-2.
  - [30] C. Díaz, M. C. Fernández Belmonte, C. I. Vettorello, and H. P. Apezteguía, "Identification of cyanobacteria in soils of the northeast region of the province of Córdoba, Argentina," *AgriScientia*, vol. 39, no. 2, pp. 57–64, 2022, doi: 10.31047/1668.298x.v39.n2.34491.
  - [31] A. Soroudi and I. Jakubowicz, "Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review," *Eur. Polym. J.*, vol. 49, no. 10, pp. 2839–2858, 2013, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2013.07.025.
  - [32] Y. Pan, C. Liu, S. Jiang, L. Guan, X. Liu, and L. Wen, "Ultrasonic-assisted extraction of a low molecular weight polysaccharide from *Nostoc commune* Vaucher and its structural characterization and immunomodulatory activity," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 108, no. June, p. 106961, 2024, doi: 10.1016/j.ultsonch.2024.106961.
  - [33] L. M. Paucar-Menacho, R. Salvador-Reyes, J. Guillén-Sánchez, and S. Mori-Arismendi, "Effect of partial substitution of wheat flour by soybean meal in technological and sensory characteristics of cupcakes for children of school age," *Sci. Agropecu.*, vol. 07, no. 02, pp. 121–132, 2016, doi: 10.17268/sci.agropecu.2016.02.05.
  - [34] M. Villavicencio Guardia, L. Alvarez Ortega, A. Fonseca Livias, A. Clara Ibazeta Valdivieso, and E. Isabel Alvarado Ortega, "Efectos Nutritivos Del *Nostoc* (Cushuro) En Los Niños Desnutridos De 1 a 3 Años Del Distrito De Amarilis-2007," *Investig. Vald.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2009, [Online]. Available: <https://revistas.unheval.edu.pe/index.php/riv/article/view/649>.
  - [35] B. Morales-Cahuancama *et al.*, "Análisis de la distribución de macronutrientes en canastas alimentarias entregadas por las municipalidades durante la pandemia de COVID-19 en Perú," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 39, no. 1, pp. 6–14, 2022, doi: 10.17843/rpmesp.2022.391.9742.
  - [36] J. A. Elera and B. Aires, "Disponibilidad y dependencia alimentaria en el Perú," pp. 2022–2025, 2025.
  - [37] R. M. C. Tejada, X. N. C. Tomaylla, and L. P. P. Quispe, "Effect of consuming achira powder fortified with heme iron on the hemoglobin level of children under one year of age," *Nutr. Clin. y Diet. Hosp.*, vol. 44, no. 3, pp. 106–111, 2024, doi: 10.12873/443coronel.
  - [38] A. Velásquez, "Impacto potencial de la fortificación de alimentos a gran escala en la reducción de la anemia infantil en Perú: una estimación basada en una revisión de revisiones sistemáticas," *An. la Fac. Med.*, vol. 86, no. 1, pp. 86–104, 2025, doi: 10.15381/anales.v86i1.29375.
  - [39] T. Cutipa Hinostroza, "Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) en el volumen y características organolépticas del pan francés," Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2022.
  - [40] I. A. Padilla Arbieta, "Grado de aceptabilidad del paneton enriquecido con cushuro o murmunta (*Nostoc commune*) por los estudiantes de bromatología y nutrición- U.N.J.F.S.C. Huacho – Perú," Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión Facultad, 2023.
  - [41] S. Rodríguez, V. T. Ponce Aquino, and J. R. Uriarte Dávila, "Effect of partial substitution of wheat flour with okara flour in the elaboration of panetone," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, pp. 1–7, 2024, doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1910.
  - [42] M. R. Ramos Quispe, "Caracterización fisicoquímica y análisis sensorial de una bebida elaborada con alga de *Nostoc Sphaericum* (Cushuro)," Universidad Norbert Wiener, 2022.
  - [43] G. Venegas Blas, "Determinación de las características fisicoquímicas y reológicas de un néctar de aguaymanto con adición de hidrocoloide de cushuro," Universidad César Vallejo, 2021.
  - [44] J. Nakahodo Nakahodo, H. D. Ceras Quiñones, C. Higaonna Nakahodo, A. Sakihara Nakahodo, and E. P. Valverde Valverde, "Mermelada de frutas enriquecida con Cushuro," Universidad San Ignacio de Loyola, 2017.
  - [45] G. I. Nuñez Ayala and J. K. Valenzuela Alborno, "Diseño de una barra alimenticia a base de cushuro, kiwicha, numia y miel," Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.
  - [46] C. F. Gonzales Salinas and W. E. Hurtado Pulido, "Calidad fisicoquímica y características fisicoquímica, sensorial y nutricional del helado de arándano (*Vaccinium Myrtillus*) y cushuro (*Nostoc Sphaericum*)," Universidad Nacional del Santa, 2024.
  - [47] W. Adriano Macha, "CONOCIMIENTO Y ACEPTABILIDAD DE PLATOS A BASE DE NOSTOC "CUSHURO" COMO ALTERNATIVA ALIMENTARIA EN AGENTES COMUNITARIOS DE SALUD EN EL DISTRITO DE PUEBLO LIBRE, 2018," Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019.
  - [48] C. L. Leiva Gonzáles and P. Sulluchuco Guerra, "Evaluación de la aceptabilidad del cushuro (*Nostoc sphaericum*) en preparaciones culinarias saladas y dulces, por estudiantes universitarios, Lima-2018," Universidad Peruana Unión, 2018.
  - [49] Data Bridge Market Research, "Mercado mundial de galletas: tendencias de la industria y pronóstico para 2029," pp. 1–12, 2022, [Online]. Available: <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-biscuits-market>.
  - [50] Data Bridge, "Mercado mundial de complementos alimenticios: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2028," pp. 1–9, 2021.
  - [51] L. P. Chávez Hidalgo, "Composición química y actividad antioxidante in vitro del extracto acuoso de *Nostoc sphaericum* (Cushuro), laguna Cushurococha - Junín," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.
  - [52] J. M. Torres Moreno and F. K. Pajuelo Baca, "Efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*)," Universidad Nacional del Santa, 2023.
  - [53] W. Y. Romero Principe, "Determinación del contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de un extracto de cushuro (*Cyanophyceae*) *Nostoc* sp.," Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019.
  - [54] N. Asalde Montero and M. Iparraguirre Lozano, "Determinación de las características nutricionales y sensoriales de galletas fortificadas con cushuro (*Nostoc sphaericum* vauch) y tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet)," Universidad Le Cordon Bleu, 2023.
  - [55] M. Martínez, E. Arguelles, A. Sapin, and R. Almeda, "Chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial properties of the edible *Cyanobacterium*, *Nostoc commune* Vaucher," *Philipp. Sci. Lett.*, vol. 14, no. August, pp. 25–35, 2021.
  - [56] H. E. Johnson, S. R. King, S. A. Banack, C. Webster, W. J. Callanaupa, and P. A. Cox, "Cyanobacteria (*Nostoc commune*) used as a dietary item in the Peruvian highlands produce the neurotoxic amino acid BMAA," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 118, no. 1, pp. 159–165, 2008, doi: 10.1016/j.jep.2008.04.008.
  - [57] F. van de Velde, "Structure and function of hybrid carrageenans," *Food Hydrocoll.*, vol. 22, no. 5, pp. 727–734, 2008, doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.05.013.
  - [58] H. J. Bixler and H. Porse, "A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry," *J. Appl. Phycol.*, vol. 23, no. 3, pp. 321–335, 2011, doi: 10.1007/s10811-010-9529-3.
  - [59] J. Houmard, "How Do Cyanobacteria Perceive and Adjust to Their Environment?," in *Molecular Ecology of Aquatic Microbes*, I. Joint, Ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995, pp. 153–170.
  - [60] F. M. Morsy, S. H. A. Hassan, and M. Koutb, "Biosorption of Cd(II) and Zn(II) by *Nostoc commune*: Isotherm and Kinetics Studies," *Clean - Soil, Air, Water*, vol. 39, no. 7, pp. 680–687, 2011, doi: 10.1002/clen.201000312.
  - [61] S. Rodríguez, K. N. Gonzales, E. G. Romero, O. P. Troncoso, and F. G. Torres, "Unusual reversible elastomeric gels from *Nostoc commune*," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 97, pp. 411–417, 2017, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.01.048.
  - [62] H. Bin Wang, S. J. Wu, and D. Liu, "Preparation of polysaccharides from cyanobacteria *Nostoc commune* and their antioxidant activities," *Carbohydr. Polym.*, vol. 99, pp. 553–555, 2014, doi: 10.1016/j.carbpol.2013.08.066.