

APROVECHAMIENTO DE ESCAMAS DE TILAPIA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLÁGENO

USE OF BLACK TILAPIA SCALES FOR THE PRODUCTION OF COLLAGEN

Denisse Margoth Zambrano Muñoz¹, Pablo Gabriel Pazmiño Peñafiel², Gabriela de los Ángeles Rodríguez Pontón³, Nelly del Pilar Pazmiño Miranda⁴.

{dzambranom@uteq.edu.ec¹, pgabpp@gmail.com², gabydelaosangeles@hotmail.es³, nd.pazmiño@uta.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 13/02/2025 / Fecha de aceptación: 21/02/2025 / Fecha de publicación: 03/03/2025

RESUMEN: La investigación explora la obtención de colágeno de las escamas de tilapia negra como alternativa sostenible frente a las fuentes convencionales. La problemática radica en la necesidad de métodos eficientes para transformar estos desechos pesqueros en un recurso ecológico y valioso, con aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética y biomédica. El objetivo principal es desarrollar un proceso que permita extraer colágeno de alta pureza y calidad. La metodología incluye etapas de limpieza, desengrase, tratamiento con ácidos o enzimas, filtración y secado. Se realizaron análisis para determinar la calidad del colágeno, evaluando su estabilidad térmica, contenido proteico y propiedades microbiológicas. Los resultados muestran que el colágeno de tilapia presenta una calidad similar a la de fuentes animales tradicionales, destacando por su alta pureza y biocompatibilidad. Además, las escamas de tilapia son una rica fuente de colágeno tipo I, con una estabilidad térmica adecuada para usos industriales. Las propiedades fisicoquímicas del colágeno extraído lo hacen adecuado para productos cosméticos que mejoran la elasticidad de la piel y para suplementos alimenticios. En conclusión, las escamas de tilapia representan una fuente viable y ecológica de colágeno. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad al reutilizar residuos pesqueros, sino que también impulsa el desarrollo de aplicaciones innovadoras en diversas industrias, contribuyendo al avance de una economía circular y amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: Colágeno, extracción, sostenibilidad, biomateriales, aplicaciones industriales.

ABSTRACT: The research explores obtaining collagen from black tilapia scales as a sustainable alternative to conventional sources. The problem lies in the need for efficient methods to transform these fishing waste into an ecological and valuable resource, with applications in the food, cosmetic and biomedical industries. The main objective is to develop a

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2168-2130>.

²Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-3575-4568>.

³Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-8123-5412>.

⁴Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-4047-4094>.

process that allows extracting collagen of high purity and quality. The methodology includes stages of cleaning, degreasing, treatment with acids or enzymes, filtration and drying. Analyzes were carried out to determine the quality of the collagen, evaluating its thermal stability, protein content and microbiological properties. The results show that tilapia collagen has a quality similar to that of traditional animal sources, standing out for its high purity and biocompatibility. In addition, tilapia scales are a rich source of type I collagen, with thermal stability suitable for industrial uses. The physicochemical properties of extracted collagen make it suitable for cosmetic products that improve skin elasticity and for food supplements. In conclusion, tilapia scales represent a viable and environmentally friendly source of collagen. This approach not only promotes sustainability by reusing fishing waste, but also drives the development of innovative applications in various industries, contributing to the advancement of a circular and environmentally friendly economy.

Keywords: Collagen, extraction, sustainability, biomaterials, industrial applications

INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones del colágeno son amplias, ya que la investigación en biomateriales ha crecido a tal grado de generar diversos andamios con diversas características. Células y factores de crecimiento son introducidos en los andamios para reparar tejidos lesionados. Las investigaciones del colágeno a nivel molecular comenzaron en la década de 1950, con las investigaciones de Highberger y Schmitt lograron caracterizar el colágeno molecular con ayuda de un microscopio electrónico. En comparación con otros polímeros naturales, los biomateriales a base de colágenos muestran biodegradabilidad, antigenicidad y biocompatibilidad. Debido a estas ventajas, los biomateriales a base de colágeno han sido empleados en el desarrollo de sustitutos de tejido y órganos. Se analiza la obtención de colágeno a partir de escamas de pescado basadas en datos experimentales de la literatura. Por tanto, el estado del arte incluye el estudio de diferentes tipos de métodos y procesos que se pueden emplear en la obtención de colágeno:

El colágeno es la proteína estructural más abundante en vertebrados, representando aproximadamente el 30% de las proteínas totales en el cuerpo humano. Juega un papel crucial en la elasticidad y resistencia mecánica de varios tejidos como piel, tendones, huesos, cartílagos y vasos sanguíneos. Esta proteína no solo es esencial para mantener la integridad estructural de los tejidos, sino que también interviene en procesos de cicatrización y regeneración celular. Debido a sus excelentes propiedades biomédicas, fisicoquímicas y bioactivas, el colágeno tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos campos como alimentos funcionales, cosmética, biomateriales, liberación controlada de fármacos e ingeniería de tejidos. Tradicionalmente, las principales fuentes de colágeno han sido pieles, tendones y huesos de animales terrestres como bovinos y cerdos. No obstante, el uso de subproductos de la industria pesquera, como pieles, escamas y huesos de pescado, representa una fuente alternativa prometedora y medioambientalmente amigable para la obtención de colágeno. Diversas especies marinas han

sido estudiadas, incluyendo salmón, tilapia, trucha, atún, bacalao, calamar y otros, con resultados satisfactorios.

Sin embargo, el uso de subproductos de la industria pesquera como pieles, escamas y huesos de pescado representa una fuente alternativa prometedora y medioambientalmente amigable para la obtención de colágeno. Diversas especies marinas han sido estudiadas, incluyendo salmón, tilapia, trucha, atún, bacalao, calamar y otros, con resultados satisfactorios (1).

Además, el colágeno derivado de peces ha emergido como una alternativa viable y sostenible. Los subproductos de la industria pesquera, como pieles, escamas y huesos, que a menudo son considerados desechos, pueden ser transformados en valiosas fuentes de colágeno. Esta práctica no solo ofrece una forma de reducir el desperdicio y mejorar la sostenibilidad ambiental, sino que también proporciona un colágeno que es compatible con una amplia gama de aplicaciones biomédicas y cosméticas. Entre los peces utilizados para la extracción de colágeno, la tilapia ha ganado particular atención. La tilapia es uno de los peces más cultivados a nivel mundial, lo que asegura un suministro constante de materia prima. El colágeno de tilapia no solo es eficaz en términos de rendimiento y calidad, sino que también presenta ventajas sobre las fuentes terrestres en términos de pureza y biocompatibilidad (2).

Por otro lado, las escamas son otro subproducto abundante de la industria pesquera, representando entre un 4- 8% de biomasa total. Están compuestas principalmente por colágeno tipo I, con algo de tipo V y células osteogénicas productoras de hidroxiapatita. La extracción de colágeno de escamas es similar al abordaje con pieles de pescado. Consiste en eliminar proteínas no colágenas, grasa y minerales mediante solventes orgánicos, alcalinos, ácidos y enzimas hidrolíticas de manera secuencial. Se han reportado rendimientos de extracción de hasta 90 mg de colágeno/g de escamas en algunas especies, sugiriendo que este tejido es una fuente particularmente rica y viable para su aprovechamiento industrial (2), (3).

Asimismo, el colágeno de escamas de pescado ha exhibido una estructura de triple hélice intacta, con alta estabilidad térmica con temperaturas de fusión sobre los 38°C en algunas especies estudiadas. Representa por tanto un biopolímero altamente prometedor (4).

En la industria alimentaria, el colágeno de tilapia se utiliza como ingrediente funcional debido a sus propiedades gelificantes, emulsionantes y estabilizadoras. Estos atributos son especialmente valiosos en la fabricación de productos cárnicos, donde el colágeno puede mejorar la textura y la estabilidad de los productos finales. Además, el colágeno hidrolizado, una forma de colágeno descompuesta en péptidos más pequeños, se utiliza en suplementos alimenticios por sus beneficios potenciales para la salud, como la mejora de la elasticidad de la piel y la fortaleza de las articulaciones (5). En el ámbito de la cosmética, el colágeno de tilapia se incorpora en una variedad de productos para el cuidado de la piel, tales como cremas hidratantes, serums y mascarillas. Estos productos aprovechan las propiedades hidratantes y antienvjecimiento del colágeno, ayudando a mejorar la firmeza y la elasticidad de la piel. La capacidad del colágeno de tilapia para ser fácilmente absorbido por la piel lo convierte en un componente ideal para formulaciones tópicas (6).

Además, más allá de la alimentación y la cosmética, el colágeno de tilapia tiene un potencial significativo en aplicaciones biomédicas. Debido a su biocompatibilidad y capacidad para promover la regeneración de tejidos, el colágeno se utiliza en la fabricación de biomateriales como esponjas, membranas y matrices tridimensionales que pueden ser implantadas en el cuerpo para apoyar la cicatrización y la reparación de tejidos. Estos materiales pueden servir como andamios para la ingeniería de tejidos, proporcionando una estructura sobre la cual las células pueden crecer y formar nuevo tejido (7). En la liberación controlada de fármacos, el colágeno de tilapia puede ser utilizado como un vehículo para la administración de medicamentos, permitiendo una liberación sostenida y dirigida de fármacos en el sitio de acción. Esta capacidad es particularmente útil en el tratamiento de enfermedades crónicas donde la liberación controlada de medicamentos puede mejorar la eficacia del tratamiento y reducir los efectos secundarios (8).

Se ha investigado su incorporación en nudos quirúrgicos, parches dérmicos, sistemas de liberación de fármacos y en la regeneración de tejidos, con resultados preliminares positivos que validan la efectividad de este tipo de colágeno de origen marino. Sin embargo, se continúan requiriendo más estudios preclínicos y ensayos para confirmar completamente su utilidad y viabilidad. El estudio se centró en la obtención de material colagenoso a partir de escamas de pescado, el estudio realizado obtuvo colágeno natural a partir de escamas de pescado de la especie tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) donde las escamas de tilapia, generalmente consideradas un residuo de la industria pesquera, representan una fuente valiosa de colágeno. Este biomaterial presenta características únicas que lo convierten en un ingrediente atractivo para diversas aplicaciones en las industrias cosmética, alimentaria y farmacéutica gracias a su riqueza en colágeno que contienen un alto porcentaje de colágeno tipo I, el mismo tipo que se encuentra en la piel y los huesos humanos, también se debe tener en cuenta su alta compatibilidad ya que el colágeno de escamas de tilapia presenta una alta similitud con el colágeno humano, lo que lo hace biocompatible y seguro para su uso en aplicaciones tópicas y orales. Sin olvidar sus propiedades únicas como antioxidantes, antiinflamatorias, hidratantes y regenerativas, lo que lo convierte en un aliado para la salud de la piel, las articulaciones y otros tejidos (9).

Se resalta la importancia de realizar estudios adicionales para determinar el tipo de colágeno extraído a través de electroforesis. Estos hallazgos representan una alternativa prometedora para la obtención de colágeno de alta calidad a partir de recursos pesqueros que de otro modo serían desechados, lo que podría tener un impacto significativo en la industria alimentaria y en la salud de las personas.

Sin embargo, la producción de colágeno de tilapia no solo ofrece beneficios funcionales y económicos, sino que también tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al utilizar subproductos de la industria pesquera, esta práctica ayuda a reducir el desperdicio y a promover el uso eficiente de los recursos. Además, la acuicultura de tilapia, cuando se maneja de manera sostenible, tiene un menor impacto ambiental en comparación con la ganadería tradicional, ya que requiere menos tierra y agua, y produce menos emisiones de gases de efecto invernadero. El aprovechamiento de la tilapia para la producción de colágeno también contribuye a la economía

circular, donde los residuos se transforman en recursos valiosos. Este enfoque no solo es crucial para la sostenibilidad ambiental, sino que también puede generar nuevas oportunidades económicas en la cadena de valor de la industria pesquera (10).

No obstante, la extracción de colágeno de la tilapia implica varios pasos cruciales para garantizar la pureza y la calidad del producto final. Generalmente, el proceso comienza con la recolección y limpieza de las pieles y escamas, seguido de la desmineralización y la eliminación de impurezas. A continuación, se utiliza un tratamiento con enzimas o ácidos para romper las proteínas y liberar el colágeno. Este proceso puede ajustarse para optimizar la extracción de colágeno tipo I, que es el más abundante y útil para aplicaciones industriales (11). La tecnología de extracción ha avanzado significativamente en los últimos años, permitiendo obtener colágeno de alta calidad con un rendimiento eficiente. Técnicas como la ultrafiltración y la liofilización se utilizan para concentrar y purificar el colágeno, asegurando que el producto final cumpla con los estándares de calidad necesarios para su uso en aplicaciones alimentarias, cosméticas y biomédicas.

Estudios comparativos entre el colágeno de tilapia y el colágeno derivado de otras fuentes animales han demostrado que el colágeno de tilapia no solo es comparable en términos de calidad y funcionalidad, sino que a menudo ofrece ventajas adicionales, como una menor alergenicidad y un perfil de aminoácidos que puede ser más favorable para ciertas aplicaciones. Además, el colágeno de tilapia ha mostrado ser efectivo en la promoción de la salud de la piel y las articulaciones cuando se consume como suplemento dietético, lo que lo convierte en una opción atractiva para los consumidores preocupados por su salud (12). A pesar de sus muchos beneficios, la producción y uso de colágeno de tilapia enfrenta ciertos desafíos. Uno de los principales retos es la necesidad de procesos eficientes y rentables que puedan competir con las fuentes tradicionales de colágeno. Además, la aceptación del colágeno de pescado en ciertos mercados puede estar limitada por preocupaciones culturales o de sabor.

Sin embargo, con el creciente enfoque en la sostenibilidad y la innovación en la industria alimentaria y biomédica, el futuro del colágeno de tilapia parece prometedor. Las investigaciones continúan explorando nuevas formas de mejorar el rendimiento de la extracción de colágeno y ampliar sus aplicaciones. Por ejemplo, estudios están investigando la posibilidad de utilizar colágeno de tilapia en la impresión 3D de tejidos, lo que podría abrir nuevas fronteras en la medicina regenerativa (13).

A pesar de sus beneficios para la salud, es importante tener presente que el estudio de la extracción de colágeno de tilapia impulsa la investigación y el desarrollo en áreas como la bioquímica, la ingeniería de alimentos y la biotecnología, abriendo nuevas posibilidades para la creación de productos innovadores. Además, este desarrollo proporciona beneficios económicos y sociales para las comunidades locales, especialmente en zonas con actividad pesquera, al crear nuevas oportunidades de empleo y diversificar la economía (14). Dentro de los impactos también se encuentra uno de gran importancia: el impacto ambiental. La valorización de las escamas de tilapia para la producción de colágeno en estado gelatinoso reduce el impacto ambiental de la industria pesquera al disminuir la cantidad de residuos que terminan en vertederos o contaminan el medio ambiente.

Los residuos y subproductos del procesamiento del pescado pueden convertirse en valiosas materias primas. La piel de diversas especies de peces se ha utilizado para extraer colágeno y gelatina, que a su vez se emplean en la elaboración de películas y péptidos con propiedades antioxidantes. De distintas especies de peces, como la tilapia, se han extraído hidrolizados de colágeno con beneficios antioxidantes, antihipertensivos o para la cicatrización de heridas. La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), ampliamente cultivada en China, genera anualmente grandes cantidades de subproductos ricos en colágeno. Se ha estimado que el colágeno obtenido de la piel de la tilapia puede superar el 40 %, ofreciendo una significativa fuente de este compuesto (15).

En años recientes, la investigación sobre la extracción y uso del colágeno de tilapia ha ganado considerable interés. Estudios han demostrado que el colágeno tipo I de tilapia presenta baja toxicidad y es biocompatible para aplicaciones biomédicas, confirmándose su seguridad y efectividad in vivo. Adicionalmente, se ha comprobado que el gel de colágeno de tilapia no causa toxicidad, reacciones en la piel, toxicidad sistémica aguda, reacciones pirogénicas, aberraciones cromosómicas ni hemólisis (16).

Investigadores de la China University of Petroleum, la Chinese Academy of Sciences y la Binzhou Medical University han logrado extraer colágeno soluble en ácidos (ASC) y colágeno soluble en pepsina (PSC) de la piel de la tilapia. Posteriormente, ambos tipos de colágeno fueron caracterizados y comparados. También desarrollaron un nuevo tipo de vendaje de hidrogel con una alta concentración de PSC. Este vendaje fue evaluado por su citotoxicidad y su capacidad para reparar la piel (17).

Por otro lado, el término "tilapia" se refiere a un grupo de peces originarios de África que abarca diversas especies, muchas de ellas de gran valor económico. Perteneciente al género *Oreochromis*, la tilapia se cría en piscifactorías de diferentes países y prospera en regiones tropicales, donde las condiciones ambientales favorecen su rápido crecimiento y reproducción. Las variedades más conocidas incluyen la tilapia azul (*Oreochromis aureus*), del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y roja (*Oreochromis sp.*). Este pez es notable por su capacidad de vivir tanto en agua salada como dulce y de adaptarse a ambientes con bajos niveles de oxígeno. Su distribución abarca el sur del Caribe, el sureste asiático, América Central y el sur de Norteamérica. Aunque inicialmente no tuvo mucho valor comercial, su popularidad y precio han aumentado considerablemente gracias a sus excelentes características: adaptación a la alimentación y cría en cautiverio, resistencia a enfermedades, carne de alta calidad y rápido crecimiento. Recientemente, se han enfocado estudios en el colágeno de sus escamas, dado su bajo contenido de grasa y su potencial uso en terapias médicas para la regeneración ósea (18).

Además, la tilapia se caracteriza físicamente por su boca ancha con labios prominentes, cuerpo comprimido y dientes cónicos. Posee aletas dorsales largas, y su cuerpo presenta una tonalidad azul verdosa metálica. La aleta dorsal y la caudal exhiben una coloración roja en sus extremos, mientras que el vientre es de un tono más claro. Esta especie puede alcanzar una longitud estándar de hasta 35 cm y un peso aproximado de 3 kg (19).

El objetivo de esta investigación es analizar los métodos de extracción de colágeno a partir de escamas de tilapia y evaluar sus aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética y biomédica, promoviendo un enfoque sustentable que maximice el aprovechamiento de recursos pesqueros y minimice el impacto ambiental."

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

Este estudio se clasifica como investigación aplicada de enfoque experimental. El objetivo principal es desarrollar un proceso eficiente y sostenible para la obtención de colágeno de escamas de tilapia, optimizando cada etapa de producción. Además, se realiza una revisión bibliográfica para complementar el análisis de métodos y tecnologías empleadas en estudios previos sobre extracción de colágeno de fuentes similares.

Selección de literatura y evaluación de calidad

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en bases de datos científicas como Scopus, PubMed y ScienceDirect para identificar estudios previos en extracción de colágeno de pescado. Los artículos fueron seleccionados utilizando palabras clave como "colágeno de escamas de pescado", "extracción de colágeno", y "tilapia negra", y filtrados según criterios de relevancia y calidad metodológica. Cada artículo fue evaluado considerando la claridad en la metodología y el diseño experimental, incluyendo la descripción de procesos de purificación y análisis de calidad del colágeno obtenido.

Recolección y tratamiento de la muestra

Las escamas de tilapia negra fueron obtenidas de mercados locales, con un peso inicial de 5 kg por lote de experimentación. Cada lote de escamas fue sometido a un proceso de limpieza con agua destilada, utilizando coladores para remover impurezas.

Etapas del proceso experimental

a. Limpieza y pretratamiento

Desengrase: Las escamas se sumergieron en una solución de etanol al 95% por 15 minutos para reducir el contenido graso.

Hidratación: Las escamas secas se remojaron en agua destilada durante 2 horas para preparar la matriz para la extracción.

b. Extracción de colágeno

Ebullición y métodos enzimáticos: Se compararon tres métodos de extracción: ebullición en agua, uso de enzimas proteolíticas y aplicación de ácido débil (pH ajustado entre 2.5 y 3). La eficiencia de cada método se evaluó mediante el rendimiento del gel obtenido y su pureza.

c. Filtración y purificación

La mezcla obtenida fue filtrada para eliminar impurezas, seguida de una desproteínización mediante enzimas proteolíticas, mejorando la claridad y reduciendo la viscosidad del colágeno.

d. Concentración y secado

Se utilizó evaporación a vacío para concentrar el gel. Posteriormente, se aplicó secado por congelación para obtener el colágeno en forma de polvo fino.

e. Análisis de calidad y almacenamiento

El producto final fue almacenado en condiciones controladas (4 °C en recipientes herméticos). Para evaluar la calidad, se realizaron análisis estadísticos descriptivos, incluyendo media y desviación estándar para parámetros de pureza y rendimiento.

Análisis estadístico

Para evaluar la eficacia de cada método de extracción, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor. En caso de diferencias significativas, se aplicaron pruebas post hoc (Tukey) para comparar los resultados entre métodos, determinando el más eficiente para la obtención de colágeno de alta pureza. Esta estructura proporciona claridad sobre cada paso del proceso experimental, respaldado por métodos estadísticos que validan los hallazgos y optimizan el proceso de obtención de colágeno.

RESULTADOS

Composición química

Según los diferentes autores definen a la escama de pescado, como un subproducto altamente proteico que contiene sustancias inorgánicas como fosfato de calcio (hidroxiapatita) y carbonato de calcio de potencial uso en la alimentación animal. La escama en estado crudo y procesado de rojo y tilapia contiene 40% de calcio y 10% de fósforo.

Tabla 1. Composición de la escama.

Composición	Escamas	Piel	Espinas
% Humedad	15,18 ± 0,27	69,94 ± 0,04	53,46 ± 0,07
% Extracto etéreo*	1,05 ± 0,17	18,37 ± 0,13	7,36 ± 0,09
% Cenizas*	32,08 ± 0,23	1,26 ± 0,10	22,91 ± 0,09

APROVECHAMIENTO DE ESCAMAS DE TILAPIA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLÁGENO

% Proteínas*	67,96 ± 0,19	82,27 ± 0,66	55,54 ± 0,22
--------------	--------------	--------------	--------------

Fuente: (20).

Interpretación: La Tabla 1 presenta la composición química de las escamas, piel y espinas de tilapia revela que la piel es la parte más adecuada para la extracción de colágeno, con un alto contenido de proteínas (82,27%) y humedad (69,94%), factores que favorecen su rendimiento en este proceso. Las escamas, aunque menos ricas en proteínas, destacan por su alto contenido mineral (32,08% de cenizas), lo cual podría ser beneficioso para aplicaciones específicas del colágeno. Las espinas, con un contenido intermedio de proteínas y minerales, ofrecen características distintas, pero menos favorables que la piel para la producción de colágeno.

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar del rendimiento (peso seco)

Fracción de residuos	Rendimiento (%)	Td (°C)	Tm (°C)
Aletas	40.3	26.3 ± 0.2	67.8 ± 0.5
Huesos	9.3	25 ± 1	65.2 ± 0.2
Piel	55.6	33.2 ± 0.5	75.5 ± 0.2
Escamas	16.1	30.5 ± 0.3	72.3 ± 0.3

Fuente: (20).

Interpretación: La Tabla 2 muestra el rendimiento y las propiedades térmicas (temperatura de desnaturalización, Td, y temperatura de fusión, Tm) del colágeno extraído de diferentes fracciones de residuos de tilapia (aletas, huesos, piel y escamas). La piel presenta el mayor rendimiento (55.6%) y las temperaturas más altas de desnaturalización (33.2 °C) y fusión (75.5 °C), lo que indica una mayor estabilidad térmica y mayor cantidad de colágeno en comparación con las otras fracciones. Las aletas, con un rendimiento intermedio (40.3%), muestran temperaturas de desnaturalización y fusión menores, sugiriendo una menor estabilidad térmica. Los huesos y las escamas, por su parte, tienen rendimientos y temperaturas térmicas más bajos, lo que los hace menos favorables para la extracción de colágeno de alta calidad. En general, la piel parece ser la mejor fuente de colágeno, debido a su alto rendimiento y mayor estabilidad térmica.

Tabla 3. Análisis de las temperaturas de desnaturalización de las muestras de colágeno.

Pruebas	Td (°C)
1	82.29
2	90.20
3	91.96
4	81.34
5	85.31
6	85.02
7	83.31
8	84.32

APROVECHAMIENTO DE ESCAMAS DE TILAPIA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLÁGENO

9	85.78
10	86.43
11	87.45
Nova_prom collagen	107.92
Pharmacy collagen	98.32

Fuente: (20).

La Tabla 3 muestra los valores de temperatura de desnaturalización (Td) para diferentes pruebas, incluyendo dos muestras de colágeno ("Nova_prom collagen" y "Pharmacy collagen"). Las pruebas 1 a 11 presentan valores de Td entre 81.34 °C y 91.96 °C, mientras que las muestras de colágeno tienen Td significativamente más altos (107.92 °C y 98.32 °C). Esto indica que los productos de colágeno son más resistentes a la desnaturalización térmica que las demás muestras, lo que sugiere una mayor estabilidad estructural, posiblemente atribuible a las propiedades inherentes del colágeno. La mayor Td en el colágeno, en particular "Nova_prom collagen", puede interpretarse como un indicador de calidad y durabilidad en aplicaciones que requieren alta estabilidad térmica.

Tabla 4. Valores de las variables fisicoquímicas para todas las formulaciones.

Samples	Ash (%)	Humidity (%)	pH	Proteins (%)	Solubility (%)
A1	1.77±0.06	15.98±0.50	6.40 ^{abc} ±0.02	71.52 ^{ab} ±2.60	5.72 ^{ab} ±0.40
A2	1.40±0.24	15.44±2.29	6.48 ^{ab} ±0.09	68.73±3.95	6.74±0.32
A3	1.46±0.23	13.63±2.76	6.19 ^{abc} ±0.32	72.18 ^{ab} ±1.13	6.93 ^a ±0.02
A4	1.65±0.23	12.05±0.79	5.52 ^c ±0.29	71.26 ^{ab} ±1.05	4.03 ^b ±0.19
A5	1.69±0.12	13.62±3.25	5.73 ^{bc} ±0.12	79.96 ^{ab} ±0.72	4.07 ^b ±0.41
A6	1.17±0.08	18.49±0.35	5.71 ^{bc} ±0.05	74.73 ^{ab} ±2.22	4.33 ^{bc} ±0.66
A7	1.45±0.27	10.93±0.48	6.34 ^{abc} ±0.15	71.26 ^{ab} ±3.21	4.70 ^b ±0.30
A8	1.51±0.18	15.50±1.56	6.18 ^{abc} ±0.10	73.50 ^{ab} ±2.17	4.14 ^b ±0.20
A9	1.16±0.16	13.34±2.31	6.85 ^a ±0.28	77.80 ^{ab} ±0.83	5.42 ^{ab} ±0.47

APROVECHAMIENTO DE ESCAMAS DE TILAPIA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLÁGENO

A10	1.79±0.01	12.81±0.30	5.81 ^{bc} ±0.16	80.58 ^a ±0.35	4.15 ^{bc} ±0.27
A11	1.82±0.19	12.91±1.06	5.82 ^{bc} ±0.06	80.24 ^a ±1.11	4.04 ^b ±0.21

Fuente: (20).

La Tabla 4 muestra características de distintas muestras (A1 a A11) en cuanto a cenizas, humedad, pH, proteínas y solubilidad. Las cenizas, que oscilan entre 1.16% y 1.82%, indican la cantidad de minerales, mientras que la humedad varía entre 10.93% y 18.49%, afectando la estabilidad y vida útil. El pH, entre 5.52 y 6.85, influye en la acidez y puede impactar la solubilidad. Las proteínas, entre 68.73% y 80.58%, sugieren variaciones en valor nutricional, y la solubilidad, de 4.03% a 6.93%, señala que algunas muestras serán más adecuadas para mezclarse en soluciones. En conjunto, estos parámetros ayudan a definir las aplicaciones potenciales de cada muestra según su estabilidad, funcionalidad y características nutricionales.

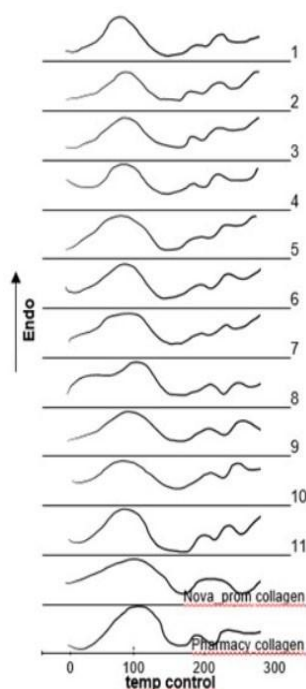


Figura 1. Curvas de DSC.

Fuente: (20).

La imagen muestra curvas endotérmicas de varias muestras (1 a 11) y dos muestras de colágeno ("Nova_prom collagen" y "Pharmacy collagen") en función de la temperatura. La mayoría de las curvas presentan picos endotérmicos entre 50 y 150 °C, lo que indica la temperatura a la que se produce la absorción de energía, posiblemente debido a la desnaturalización de proteínas. Las

muestras de colágeno tienen picos a temperaturas más altas, especialmente "Nova_prom collagen", lo que sugiere una mayor estabilidad térmica comparada con las otras muestras, ya que requiere más calor para desnaturalizarse. Esto reafirma que el colágeno posee una resistencia térmica superior.

Características microbiológicas

Se eligió una de las muestras de colágeno de escamas de pescado para realizar los diferentes análisis microbiológicos, se pudo observar los siguientes resultados.

Tabla 5. Resultados de análisis microbiológicos a las muestras de colágeno de escamas.

PARAMETRO	RESULTADOS	LIMITE ACEPTABLE
Recuento total de bacterias anaerobias mesófilas totales	1.3 x 10 UFC/ml	< 10 UFC/ml
Coliformes Totales	Ausente	Ausente
Hongos	No se observa hifas de hongos	< 10 UFC/ml
Levaduras	Escasas	< 10 UFC/ml

Fuente: (21).

La Tabla 5 muestra un análisis microbiológico de una muestra en comparación con los límites aceptables para cada parámetro. El recuento total de bacterias anaerobias mesófilas totales es de 1.3 x 10 UFC/ml, lo cual supera el límite aceptable de <10 UFC/ml, indicando una posible contaminación bacteriana que podría afectar la calidad o seguridad de la muestra. Los coliformes totales están ausentes, lo cual es un resultado positivo, ya que cumple con el límite aceptable de ausencia de estos microorganismos, típicos indicadores de contaminación fecal. En cuanto a hongos, no se observan hifas, lo que está dentro del límite de <10 UFC/ml, indicando una baja o nula presencia de contaminación fúngica. Finalmente, se reporta una presencia escasa de levaduras, que también excede ligeramente el límite de <10 UFC/ml, lo cual sugiere una mínima presencia de estos microorganismos, pero aún podría ser motivo de vigilancia. En resumen, la muestra presenta un cumplimiento parcial de los criterios microbiológicos, pero la alta cantidad de bacterias mesófilas es un área de preocupación y requeriría medidas correctivas

Tabla 6. Costo de obtención de colágeno.

Nº	Factores	Costo (dólares)
1	Escama de pescado	0,00
2	Reactivos	3,00

APROVECHAMIENTO DE ESCAMAS DE TILAPIA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLÁGENO

3	Análisis de nitrógeno total	20,00
4	Equipo instrumental	30,00
5	Gastos energéticos	10,00
6	Material de recolección	2,00
7	Varios	15,00
8	Análisis microbiológicos	45,00
	TOTAL	122,00

Fuente: (22).

En la Tabla 6 se analizan los gastos que generó la obtención de colágeno en este proyecto de investigación. Los factores que se tomaron en cuenta fueron: materia prima, mano de obra, recursos utilizados, análisis fisicoquímicos y cuantificación de colágeno.

DISCUSIÓN

La presente investigación aborda el aprovechamiento de las escamas de tilapia negra para la extracción de colágeno, evaluando aspectos composicionales, rendimiento y propiedades térmicas del colágeno obtenido. Los resultados muestran una alta viabilidad para la extracción de colágeno especialmente a partir de la piel de tilapia, aunque las escamas y otras fracciones también presentan potencial en contextos específicos. A continuación, se discuten los hallazgos en comparación con estudios previos para contextualizar la calidad y aplicabilidad del colágeno obtenido de tilapia.

En primer lugar, la composición química del colágeno obtenido de las escamas de tilapia muestra ciertas similitudes con otros estudios realizados en diferentes especies de peces. En la Tabla 1, el contenido de proteínas en la piel de tilapia (82,27%) es elevado en comparación con el de las escamas (67,96%) y espinas (55,54%), lo que concuerda con lo reportado por Gómez y Benítez (2011), quienes afirman que la piel es la fuente más rica en proteínas y por tanto más adecuada para la producción de colágeno (22). La alta concentración de minerales en las escamas (32,08% de cenizas) sugiere que, aunque la piel es ideal para la extracción de colágeno, las escamas podrían tener aplicaciones específicas en la industria nutracéutica debido a su contenido mineral (23). Este hallazgo también es consistente con lo reportado por otros autores que han señalado el potencial de los minerales de las escamas en la suplementación alimentaria animal y humana (22).

Los valores de rendimiento y estabilidad térmica del colágeno obtenido (Tabla 2) destacan la piel como la fuente más eficiente, con un rendimiento de 55.6% y una temperatura de desnaturalización de 33.2 °C y de fusión de 75.5 °C. Este alto rendimiento es congruente con los resultados de estudios previos, a comparación de (24), quienes reportan que la piel de tilapia presenta una mayor estabilidad térmica y contenido de colágeno en comparación con otras fracciones de residuos como las aletas y escamas (4). La estabilidad térmica observada es importante para aplicaciones biomédicas y cosméticas donde se requiere que el colágeno mantenga su estructura a temperaturas variables. Comparativamente, las escamas y huesos, con temperaturas de fusión y desnaturalización más bajas, se presentan como menos favorables para aplicaciones donde se requiere alta estabilidad térmica, si bien podrían ser útiles en contextos donde la estructura térmica es menos crítica (25).

Otro aspecto relevante es la temperatura de desnaturalización (T_d) obtenida en diversas pruebas (Tabla 3). El colágeno de referencia ("*Nova_prom collagen*" y "*Pharmacy collagen*") presentó temperaturas de desnaturalización superiores (107.92 °C y 98.32 °C, respectivamente), lo cual sugiere una mayor resistencia térmica en comparación con el colágeno extraído de las escamas y piel de tilapia (26). Esta diferencia podría deberse a las variaciones en el tipo de colágeno, métodos de extracción y especies de origen. El estudio de (20) también encontró que el colágeno comercial posee una mayor estabilidad térmica, lo cual puede atribuirse a procesos de purificación y enriquecimiento específicos en la industria de colágeno comercial (22). Esto indica que, aunque el colágeno de tilapia presenta un buen nivel de estabilidad térmica, la incorporación de mejoras en los procesos de extracción podría elevar la calidad y la resistencia térmica del producto.

En cuanto a las características fisicoquímicas (Tabla 4), los valores de cenizas, humedad, pH, proteínas y solubilidad del colágeno de tilapia se encuentran dentro de rangos comparables a los observados en otros estudios. El porcentaje de proteínas en las muestras analizadas varía entre 68.73% y 80.58%, lo cual es cercano a lo reportado por autores como (20), quienes también encuentran altos niveles proteicos en colágenos de pescado (8). La variación en la humedad (10.93% a 18.49%) y en el pH (5.52 a 6.85) puede influir en la solubilidad y estabilidad del colágeno en distintas aplicaciones (27). Valores de pH cercanos a 6, como se observa en las muestras A1 a A11, son generalmente favorables para aplicaciones en productos cosméticos, donde el colágeno debe estar en un rango de pH compatible con la piel humana (27).

Las propiedades microbiológicas del colágeno extraído también son un aspecto fundamental para su aplicación en productos de salud y belleza. En la Tabla 5, los análisis microbiológicos muestran un recuento de bacterias anaerobias mesófilas de 1.3×10 UFC/ml, superando el límite aceptable de <10 UFC/ml, lo que podría indicar una necesidad de mejorar la esterilización o condiciones de almacenamiento para garantizar la seguridad del colágeno en aplicaciones sensibles (11). Sin embargo, la ausencia de coliformes totales es positiva y refuerza la calidad del proceso de extracción. En comparación, estudios de Sáenz (22) también subrayan la importancia de cumplir con estándares microbiológicos estrictos en la producción de colágeno, especialmente en aplicaciones biomédicas y alimentarias (12).

Por último, el costo total estimado de la extracción de colágeno de tilapia (Tabla 6) asciende a 122 dólares, incluyendo gastos en reactivos, análisis y uso de equipo instrumental. Este costo es comparable con estudios de (13) inversión en equipo y análisis microbiológicos representa una gran parte de los costos en la producción de colágeno (13). La inversión inicial, aunque considerable, puede justificarse dada la calidad y valor agregado del colágeno obtenido, sobre todo si se considera el enfoque en la sostenibilidad y el aprovechamiento de subproductos pesqueros (14). Asimismo, la posibilidad de valorizar un residuo como las escamas de tilapia para la obtención de colágeno abre una alternativa económicamente viable, con beneficios ambientales significativos al reducir desechos (28).

CONCLUSIONES

La extracción de colágeno de escamas de pescado representa una solución innovadora y sostenible para transformar residuos de la industria pesquera en un recurso de alto valor. Esta tecnología, especialmente útil en países con abundante biodiversidad marina, permite revalorizar un subproducto que suele ser desechado. El colágeno obtenido se destaca por su versatilidad en la industria alimentaria, ya que posee propiedades funcionales únicas, como la capacidad de formar texturas agradables y saludables, lo que lo convierte en un ingrediente atractivo para satisfacer las demandas de los consumidores modernos.

El colágeno extraído de las escamas de pescado es una materia prima con gran potencial en la industria alimentaria. Sus propiedades, tales como la gelificación, la formación de películas y su capacidad para mejorar la textura, lo convierten en un ingrediente versátil. Además, sus beneficios para la salud y su capacidad para reemplazar grasas lo posicionan como una alternativa atractiva para la elaboración de productos más saludables y apetecibles.

Mediante una revisión bibliográfica sobre el tema, se identificó que existe una aceptabilidad del colágeno de escamas de pescado diluido en jugo de naranja. En un estudio, se evaluaron indicadores como sabor, olor, color y apariencia, obteniendo una valoración de “Me Gusta” en todos los aspectos. Asimismo, el nivel de aceptabilidad global también fue calificado como “Me Gusta”, lo que permite concluir que el producto es aceptable y agradable para el consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cobeña-Dueñas M, Azúcar ADRC, 2022 undefined. Revisión de los métodos de obtención de colágeno a partir de subproductos de especies marinas. *scielo.sld.cu* [Internet]. [cited 2025 Feb 14]; Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612022000400102&script=sci_arttext&tlng=en
2. Quintana S, Sector DVB en el, 2025 undefined. Elaboración de gomas comestibles con colágeno extraído a partir de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *revistas.unicauca.edu.co*

- [Internet]. [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/2462>
3. Ore C, Ludy B, Katerine P. Extracción enzimática de colágeno de piel y cartílago de huesos (residuos) de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). 2023 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9841>
 4. Rajabimashhadi Z, Gallo N, Salvatore L, Lionetto F. Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges. *Polymers* 2023, Vol 15, Page 544 [Internet]. 2023 Jan 20 [cited 2025 Feb 14];15(3):544. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/3/544/htm>
 5. Item 1006/1369 | Repositorio CIAD [Internet]. [cited 2025 Feb 14]. Available from: <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/1369>
 6. Costa FT, Oliveira TP, Droval AA, Marques LLM, Fuchs RHB, Cardoso FAR. Evaluation of physicochemical properties of Nile tilapia skin collagen extracted in acid médium. *Brazilian Journal of Biology* [Internet]. 2022 May 16 [cited 2025 Feb 14];84:e255440. Available from: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/5ZpKXjPtdscFDcBtdZ4DKJ/?format=html&lang=en>
 7. Montañó EM, Leyva JAS, Ruíz IO. Proteínas y péptidos de residuos líquidos pesqueros: Obtención, bioactividad y uso en la alimentación acuícola. *Avances en Nutrición Acuicola* [Internet]. 2022 Oct 12 [cited 2025 Feb 14];1(1):50–70. Available from: <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/355>
 8. Lim YS, Ok YJ, Hwang SY, Kwak JY, Yoon S. Marine collagen as a promising biomaterial for biomedical applications. *Mar Drugs*. 2019 Aug 10;17(8).
 9. Velez Miñano LY, Fernandez Baca JC. Técnicas de extracción de colágeno: Aplicaciones y tendencias científicas. *Manglar* [Internet]. 2024 Aug 31 [cited 2025 Feb 14];21(3):391–9. Available from: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462024000300391&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 10. Quintana SCC, Vargas D. Elaboración de gomas comestibles con colágeno extraído a partir de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 14];23(1). Available from: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/2462>
 11. La Suplementación De Colágeno Hidrolizado En La Prevención Y Tratamiento De Procesos Osteoarticulares B DE. Beneficios de la suplementación de colágeno hidrolizado en la prevención y tratamiento de procesos osteoarticulares [Internet]. 2022 [cited 2025 Feb 14]. Available from: <https://hdl.handle.net/11441/143774>
 12. David MC, Martínez I. Efecto de los probióticos enriquecidos con curcumina sobre la respuesta inmunitaria de la tilapia. 2022 Mar 24 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2330>
 13. Morales SM, Chacón A, Mostue M, Prin JL. Análisis químico de colágeno en piel de cola de atún (*Thunnus atlanticus*) en medio ácido. *Revista ESPAMCIENCIA*, ISSN-e 1390-8103, Vol 14, No 1, 2023 (Ejemplar dedicado a: REVISTA ESPAMCIENCIA 2023), págs 47-55 [Internet]. 2023 [cited 2025 Feb 14];14(1):47–55. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9138856&info=resumen&idioma=ENG>
 14. Ayala Barajas D. Síntesis de compósitos hidroxiapatita/colágeno a partir de residuos de pescado con orientación a la regeneración ósea. 2021 Aug [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://hdl.handle.net/11191/9428>

15. Gómez-Contreras P, Hernández-Fernández J, Ortega-Toro R, Gómez-Contreras P, Hernández-Fernández J, Ortega-Toro R. Obtención y caracterización de colágeno del pez de agua dulce *Prochilodus magdalenae*: aplicación en películas biodegradables. Información tecnológica [Internet]. 2023 Apr [cited 2025 Feb 14];34(2):89–98. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642023000200089&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
16. Diego J, Mora S, Paola M, Cedeño Á, Miguel A, Loor A, et al. Estudio técnico para la producción de gelatina a base de escamas de pescado en la Ciudad de Portoviejo. Ciencia y Tecnología [Internet]. 2025 Jan 15 [cited 2025 Feb 14];18(1):100–14. Available from: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/894/1008>
17. Lu J, Zhang J, Ye E, Wei DX, Xu G, Yu J, et al. Marine-Derived Collagen as Biomaterials for Human Health. Front Nutr [Internet]. 2021 Aug 24 [cited 2025 Feb 14];8:702108. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8421607/>
18. Morlanes Pallás R. Apósitos y biomateriales para heridas a partir de colágeno marino: una revisión sistemática. 2021 Jun 14 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/22867>
19. Antoine EE, Vlachos PP, Rylander MN. Tunable collagen I hydrogels for engineered physiological tissue micro-environments. PLoS One. 2015 Mar 30;10(3).
20. Costa FT, Oliveira TP, Droval AA, Marques LLM, Fuchs RHB, Cardoso FAR. Evaluation of physicochemical properties of Nile tilapia skin collagen extracted in acid médium. Brazilian Journal of Biology [Internet]. 2022 May 16 [cited 2025 Feb 14];84:e255440. Available from: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/5ZpKXjPtdscFDcBtbdZ4DKJ/>
21. Carhuajulca Farfan AA, Meza Orozco JA. Diseño de proceso para obtener colágeno de desperdicios hidrobiológicos (piel de *coryphaena hippurus*) siguiendo la NTP 209.088:1981 Gelatinas. control microbiológico. Repositorio Institucional - UCV [Internet]. 2022 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114167>
22. (PDF) Aislamiento y caracterización de colágeno extraído de escamas de pescado y aplicado como proteína anti-TNF α [Internet]. [cited 2025 Feb 14]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/366937891_Isolation_and_Characterization_of_Collagen_Extracted_from_Fish_Scales_and_Applied_as_Anti-TNFa_Protein
23. Perdomo D, Daniela K, Laura Muñiz E, Jipijapa J, Ecuador M. LOS DERIVADOS DE LA PIEL DE PESCADO Y SU INCIDENCIA EN EL BUEN VIVIR DE LOS ARTESANOS DEL CANTÓN MUISNE. 2021 Apr 26 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2806>
24. Estudio técnico para la producción de gelatina a base de escamas de pescado en la ciudad de Portoviejo. | EBSCOhost [Internet]. [cited 2025 Feb 14]. Available from: https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A11%3A34599723/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A182548267&crl=c&link_origin=scholar.google.es
25. TAMARA P. EXTRACCIÓN DE COLÁGENO A PARTIR DE LA PIEL DEL PESCADO BONITO SIERRA (*Sarda sarda*) Y TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*). 2021 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <http://181.198.35.98/Archivos/PIGUAVE%20MACIAS%20DAYANNA%20TAMARA.pdf>

26. Pallás RM. Apósitos y biomateriales para heridas a partir de colágeno marino: una revisión sistemática. 2021 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/22867>
27. Beltrán Ramírez J. Valoración de la innovación tecnológica del proceso de obtención de colágeno a partir de piel de tilapia (*Oreochromis sp*) para su aplicación en el mercado cosmético. 2011 [cited 2025 Feb 14]; Available from: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7688>
28. Farooq S, Ahmad MI, Zheng S, Ali U, Li Y, Shixiu C, et al. A review on marine collagen: sources, extraction methods, colloids properties, and food applications. *Collagen and Leather* 2024 6:1 [Internet]. 2024 Mar 18 [cited 2025 Feb 14];6(1):1–27. Available from: <https://jlse.springeropen.com/articles/10.1186/s42825-024-00152-y>