

Técnicas de extracción de colágeno: Aplicaciones y tendencias científicas

Collagen extraction methods: Applications and scientific advancements

Leslie Vélez^{1*}; Jennifer Fernandez¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: t522400120@unitru.edu.pe (L. Vélez).

ORCID de los autores:

L. Vélez: <https://orcid.org/0009-0006-8047-0927>

J. Fernandez: <https://orcid.org/0009-0008-0404-5894>

RESUMEN

La extracción de colágeno a partir de subproductos representa una solución innovadora para la gestión de residuos y la producción de bioproductos de alto valor añadido. Este estudio revisa los métodos de extracción de colágeno, con énfasis en la hidrólisis, y sus aplicaciones en las industrias alimentaria, biomédica y cosmética. Se realizó un análisis bibliométrico utilizando la base de datos Scopus y las herramientas VosViewer y Bibliometrix para identificar tendencias de investigación y colaboración internacional. El objetivo de esta revisión es proporcionar una visión general del estado actual de la investigación sobre la extracción de colágeno de tejidos animales y sus aplicaciones. Los resultados muestran un creciente interés global en este campo, con China y Brasil liderando en número de publicaciones. Se observa una evolución en los métodos de extracción, desde enfoques tradicionales hacia técnicas más eficientes y sostenibles. Las conclusiones destacan el potencial del colágeno extraído de subproductos para promover la sostenibilidad y la innovación en diversas industrias, así como la importancia de la colaboración internacional y la investigación interdisciplinaria para impulsar avances significativos en este campo.

Palabras clave: proteína; hidrólisis; métodos de extracción; subproductos; análisis bibliométrico.

ABSTRACT

The extraction of collagen from poultry by-products represents an innovative solution for waste management and the production of high added value bioproducts. This study reviews collagen extraction methods, with emphasis on hydrolysis, and their applications in the food, biomedical, and cosmetic industries. A bibliometric analysis was performed using the Scopus database and the VosViewer and Bibliometrix tools to identify research trends and international collaboration. The objective was to provide an overview of the current state of research on collagen extraction from animal tissues and its applications. The results show a growing global interest in this field, with China and Brazil leading in number of publications. An evolution is observed in extraction methods, from traditional approaches to more efficient and sustainable techniques. The conclusions highlight the potential of collagen extracted from by-products to promote sustainability and innovation in various industries, as well as the importance of international collaboration and interdisciplinary research to drive significant advances in this field.

Keywords: proteins; hydrolysis; extraction methods; bioproducts; bibliometric analysis.

Recibido: 02-06-2024.

Aceptado: 27-08-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la búsqueda de soluciones sostenibles y la valorización de subproductos en la industria alimentaria han ganado una atención significativa. La creciente demanda por prácticas sostenibles ha impulsado la exploración de métodos innovadores para la reutilización de desechos agroindustriales. Un ejemplo destacado es la extracción de colágeno a partir de subproductos animales, tales como la piel y las patas. Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental de los desechos, sino que también agrega valor a lo que anteriormente se consideraba residuos (Fu et al., 2019). El colágeno es una proteína estructural clave, ampliamente utilizada en diversas industrias, incluyendo la cosmética, farmacéutica, alimentaria y biomédica (Widayat et al., 2023). El colágeno se encuentra en los órganos de los animales como una estructura macromolecular insoluble y está asociado con proteoglicanos, glicoproteínas, entre otros componentes. Por ello, es necesario elegir métodos de extracción adecuados según las diferencias en las materias primas. Los huesos de los animales representan una fuente significativa de colágeno, pero la estructura rígida de los huesos complica su extracción. Por lo tanto, desarrollar un método de extracción que sea estable, eficiente, económico y ecológico es un desafío técnico crucial que necesita ser abordado con urgencia en el procesamiento avanzado de huesos animales (Cao et al., 2023). Los residuos avícolas representan subproductos valiosos debido a su alto contenido de colágeno. Estos subproductos, a menudo desechados, poseen un gran potencial para ser convertidos en ingredientes funcionales de alto valor a través de procesos de extracción por hidrólisis. Este método no solo es eficiente en la recuperación de colágeno, sino que también puede ser optimizado para mejorar el rendimiento y las propiedades funcionales del colágeno extraído (Mrázek et al., 2020).

Estudios recientes han demostrado que la hidrólisis controlada permite obtener colágeno con propiedades específicas, adecuadas para aplicaciones particulares. La optimización de parámetros como la temperatura, el tiempo y la concentración de ácidos durante la hidrólisis ha sido fundamental para maximizar el rendimiento y la calidad del colágeno obtenido. Por ejemplo, Widayat et al. (2023) analizaron el efecto de la temperatura, el tiempo y la concentración de ácido sobre el rendimiento del colágeno extraído de escamas de pescado, destacando la importancia de estos factores en la eficiencia del proceso. Además, el colágeno derivado de subproductos avícolas no solo cumple con los estándares de sostenibilidad, sino que también ofrece ventajas en términos de funcionalidad y seguridad. La investigación de Yuan et al. (2024) sobre la utilización sostenible de proteínas de subproductos de pescado para la extracción de colágeno destaca la viabilidad de estos enfoques en la producción industrial a gran escala. Similarmente, Anandito et al. (2024) investigaron el efecto de la concentración de ácido, la temperatura, el tiempo de extracción y el proceso óptimo de elaboración de gelatina de espina de pez cobia. Además, Lamers et al. (2024) realizaron la extracción secuencial y caracterización de gelatina de patas de pavo. Estos estudios proporcionan una base sólida para la optimización de procesos aplicables a subproductos avícolas y pecuarios. La extracción de colágeno a partir de subproductos avícolas mediante hidrólisis no solo representa una solución innovadora para la gestión de residuos, sino que también abre nuevas oportunidades en la producción de bioproductos de alto valor añadido (Gündem & Tarhan, 2021).

En este contexto, este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sobre técnicas de extracción de colágeno a partir de subproductos de tejidos animales. Se incluye un análisis bibliométrico, con el fin de identificar futuras investigaciones.

METODOLOGÍA

Obtención y preprocesamiento de datos

La recopilación de la data se realizó a través de la base de datos de Scopus debido a su amplia cobertura de literatura científica en cuanto a volumen y diversidad de publicaciones, que supera a sus homólogos (AlRyalat et al., 2019).

Para examinar las publicaciones enfocadas en el tema de investigación, se seleccionaron los siguientes términos de búsqueda: "extraction", "collagen" y "hydrolysis", enlazado mediante el operador "AND". Se estableció que estos términos podían estar presentes en los títulos, resúmenes y/o palabras claves de los artículos, con el fin de obtener un conjunto completo de documentos de Scopus. No se consideró limitación de periodo de publicación, por lo que la búsqueda varió desde el inicio (1955) hasta junio del 2024, obteniendo así un total de 364 resultados. Entre los criterios de selección, se incluyeron artículos de revisión, artículos de investigación y otros tipos de documentos.

Los indicadores bibliométricos (número total de publicaciones, los años y países de publicación, los tipos de publicaciones, los autores y las revistas), se recopilaron en un archivo CSV (Figura 1).

Análisis de datos

Para la visualización de los datos, se utilizaron VOSviewer versión 1.6.20 y Bibliometrix del paquete de R. El software VOSviewer facilitó la identificación de tendencias, así como acoplamiento bibliográfico entre países, permitiendo representar visualmente la naturaleza colaborativa internacional de las investigaciones. Se examinaron las palabras clave del autor, filtrando aquellas que se repetían por sinónimos o en formas singular y plural; con ello se hizo énfasis en la evolución en el campo mediante el mapeo de co-ocurrencia. Además, se examinó la red de coautoría para identificar grupos prominentes de autores, destacando patrones de colaboración (Pham & Le, 2024; Van Eck & Waltman, 2020, 2022).

Para utilizar las funciones de Bibliometrix, primero se configuró el paquete dentro del entorno RStudio, abriendo así la interfaz amigable de Biblioshiny (Büyükkidik, 2022), para la construcción de matrices y mapeos personalizados, incluyendo

análisis de redes y análisis de correspondencia, con la intención de describir la producción científica por años, por autores y por países (Arruda et al, 2022; Dervis, 2019).

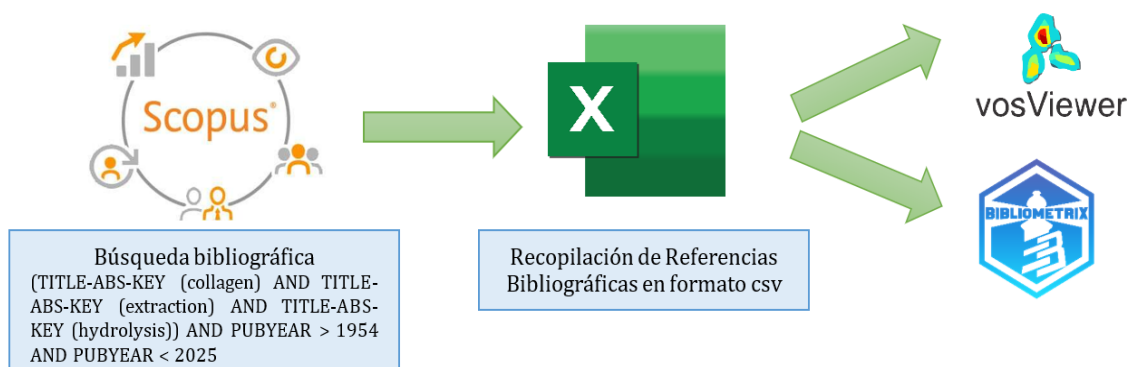


Figura 1. Esquema sobre la obtención de data para el análisis bibliométrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fuentes de colágeno: Tejidos animales

El colágeno se obtiene principalmente de los huesos y la piel de animales bovinos como vacas, bueyes y búfalos. El colágeno bovino hidrolizado, derivado de diversos tejidos, presenta actividades antimicrobianas, antioxidantes y antihipertensivas (Lima et al., 2015; Zhang et al., 2013).

El colágeno también se extrae de los huesos y la piel de porcinos, siendo utilizado principalmente con fines industriales. Este tipo de colágeno es muy similar al colágeno humano, lo que lo hace seguro y no provoca respuestas alérgicas (Cortial et al. 2006). Sin embargo, el colágeno derivado de porcinos y bovinos es altamente inmunogénico e inflamatorio y puede propagar diversas enfermedades; por ello, las fuentes marinas son vistas como la mejor opción (Addad et al., 2011).

Las fuentes marinas de colágeno incluyen vertebrados e invertebrados marinos como sepias, medusas, anémonas de mar, pulpos, erizos de mar, estrellas de mar, camarones y calamares (Krishnan & Perumal, 2013; Sugiura et al., 2009). Estas fuentes son consideradas las más sostenibles en la actualidad, ya que contribuyen a reducir los desechos de pescado, que causan contaminación ambiental generada por la industria y las fábricas de procesamiento de pescado (Ahmed et al., 2020). La industria alimentaria genera una cantidad significativa de subproductos que, aunque tradicionalmente se consideraban residuos, actualmente se reconocen como fuentes potenciales de materiales valiosos (Campos et al., 2023). Estos subproductos provienen tanto del procesamiento de animales como de productos vegetales, y su aprovechamiento puede contribuir no solo a reducir los costos de eliminación, sino también a generar ingresos adicionales y promover la sostenibilidad ambiental (Nguyen et al., 2020).

En el contexto de la industria cárnica, por ejemplo, los subproductos como la piel bovina y las patas de pollo son ricos en colágeno, una proteína esencial con diversas aplicaciones industriales y comer-

ciales. La extracción de colágeno de estos subproductos se realiza mediante métodos como la hidrólisis ácida, alcalina o enzimática, dependiendo de las características específicas del material y del producto final deseado (Garcia et al., 2022; Mokrejs et al., 2017).

Asimismo, en la industria de procesamiento de pescado, las pieles, vísceras y huesos se han identificado como fuentes ricas en colágeno y otros compuestos bioactivos como los péptidos antimicrobianos y antioxidantes (Yuan et al., 2024).

Métodos de extracción de colágeno

Tradicionalmente, la extracción de colágeno se ha basado en la hidrólisis química mediante la solubilización ácida, alcalina, con extracto de pepsina o con sales. En algunos casos, estos métodos pueden mejorarse con la asistencia de ultrasonidos, microondas o enzimas. Para evitar la degradación del colágeno, la temperatura de extracción se mantiene generalmente a un nivel bajo. Los métodos de extracción se adaptan para optimizar el rendimiento y las propiedades del producto final (Matinong et al., 2022).

En la Tabla 1 se realiza una síntesis de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de extracción. El colágeno es una proteína esencial que forma parte estructural de la piel y los huesos de las aves de corral en cantidades significativas. La gelatina, por otro lado, se produce mediante la hidrólisis parcial del colágeno bajo condiciones controladas (Fauziyah et al., 2023). Esta sustancia resultante es una proteína pura que exhibe diversas propiedades funcionales y tecnológicas, incluyendo la capacidad de gelificar, espesar, formar películas y emulsionar. Estas características hacen de la gelatina un ingrediente versátil y valorado en numerosas aplicaciones industriales, alimentarias y farmacéuticas (Gündem & Tarhan, 2021). Los métodos de extracción más utilizados para la obtención de colágeno hidrolizado se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de extracción

Métodos	Ventajas	Desventajas	Referencias
Extracción profunda con disolvente eutéctico	Numerosas combinaciones Baja toxicidad Rentable	Tiempo prolongado de extracción Degradación potencial de la proteína	(Farooq et al., 2024)
Extracción de fluidos supercríticos	Aumenta el rendimiento Reduce el efecto ambiental Selectividad mejorada	Posibles cambios estructurales Costo elevado de mantenimiento	(Farooq et al., 2024)
Extrusión-hidro-extracción	Rendimiento alto Producción de forma continua Reducción de residuos	Costo elevado de equipos Requiere de filtración	(Farooq et al., 2024)
Extracción asistida físicamente	Tiempo reducido de extracción Estructura intacta de colágeno Mayor eficiencia	Complejidad en los pasos a seguir Escalabilidad industrial limitada	(Sousa et al., 2020)
Extracción asistida por ultrasonido	Tiempo corto de extracción Rendimiento alto Uso reducido de solventes	No combinable con otros instrumentos	(Shaik et al., 2021; Farooq et al., 2024)

Tabla 2

Métodos de extracción más utilizados para la obtención de colágeno hidrolizado

Métodos	Parámetros	Ventajas	Desventajas	Referencias
Hidrólisis ácida	Tipo de ácido (orgánicos e inorgánicos), normalmente se utiliza ácido acético Concentración del ácido pH Tiempo de reacción Agitación	Alto rendimiento de colágeno y con una pureza maximizada	Puede causar desnaturalización del colágeno, requiere ajuste cuidadoso de los parámetros para evitar pérdida de producto	(Cao et al., 2023; Matinong et al., 2022)
Hidrólisis alcalina	Tipo y concentración del agente alcalino, comúnmente hidróxido de sodio Relación solido-liquido Temperatura pH Tiempo de reacción Agitación	Facilita la solubilización del colágeno, menos dañino para el colágeno comparado con la hidrólisis ácida	Puede requerir ajuste preciso del pH y tiempo de reacción para evitar la sobre hidrólisis	(Matinong et al., 2022; Dhakal et al., 2018)
Hidrólisis enzimática	Tipo y concentración de la enzima proteolítica Temperatura pH Tiempo de reacción	Ofrece una mejor selectividad de reacción y es menos dañina para el colágeno	Costo más elevado debido a la necesidad de enzimas específicas	(Yan et al., 2015)

Usos y aplicaciones del colágeno extraído de subproductos

La reducción en la producción de colágeno, influenciada por malos hábitos alimenticios y el envejecimiento natural, ha incrementado la demanda de colágeno en productos alimenticios saludables. Consumir colágeno en la dieta es una opción eficaz frente a las inyecciones, combinándose frecuentemente con diversos alimentos para satisfacer las necesidades nutricionales (Jhawar et al., 2020). Los suplementos de colágeno, que refuerzan y engrosan los tejidos, favorecen la recuperación de lesiones, aumentan la masa muscular y ayudan en el tratamiento de enfermedades inflamatorias crónicas como la artritis reumatoide. Como aditivo alimentario, el colágeno se aprovecha por sus propiedades emulsionantes, formadoras de película y espumantes, siendo útil en productos como galletas, embutidos y quesos, mejorando su contenido proteico y antioxidante (Gaikwad & Kim, 2024). La gelatina derivada de bovinos y porcinos son las más utilizadas en esta industria. Hasta la fecha, el uso de gelatina de pescado en esta

industria sigue siendo limitado en comparación con estas fuentes, la razón puede deberse a la presencia de notas desagradables a pescado (Nitsuwat et al., 2021).

Industria biomédica

El colágeno, tradicionalmente extraído de tejidos animales, ha despertado un creciente interés en ser obtenido de fuentes alternativas. El colágeno derivado de residuos obtenidos de la producción de cuero muestra propiedades prometedoras en aplicaciones biomédicas. Geles basados en estos extractos de colágeno promueven la adhesión y diseminación de las células HEK293, y las células cultivadas en colágeno de piel descalcificada muestran una mayor expansión nuclear y celular que las células cultivadas en atelocolágeno de tendón bovino tradicional, lo que sugiere su potencial como portadores biomédicos naturales en aplicaciones médicas y cosméticas (Maistrenko et al., 2022).

Asimismo, el colágeno derivado del pescado destaca por su eficacia en la cicatrización de

heridas, ingeniería de tejidos y cultivo de células. En la cicatrización de heridas, los hidrogeles de colágeno son altamente efectivos debido a su capacidad para formar fibras estables, reduciendo el tiempo de curación y el dolor. Se han desarrollado varios sustitutos de piel a partir de colágeno, como Alloderm™ e Integra™, mejorando la estética y funcionalidad de la piel (Shalaby et al., 2020). En ingeniería de tejidos, el colágeno de pescado se utiliza para regenerar piel, huesos y cartílagos, demostrando alta biocompatibilidad y promoviendo la formación celular. Los estudios han mostrado que los andamios de colágeno-quitosano e hidroxiapatita son especialmente efectivos en la osteogénesis (Nie et al., 2019). En la administración de medicamentos, el colágeno de pescado se emplea como vehículo para mejorar la estabilidad y la liberación controlada de fármacos. Por último, en el cultivo de células, el colágeno de pescado se presenta como una alternativa prometedora al colágeno de mamíferos debido a su alta biocompatibilidad, promoviendo la proliferación y diferenciación celular en aplicaciones de cultivos celulares tridimensionales (Gaikwad & Kim, 2024). En esta línea el colágeno extraído de las escamas de tilapia, se utiliza por sus propiedades regenerativas y curativas, contribuyendo a la elaboración de productos para el cuidado de la piel y tratamientos de heridas (Liu et al., 2019).

Industria cosmética

El colágeno es un componente esencial de la piel, producido por fibroblastos que sintetizan procolágeno transformándolo en moléculas de colágeno. Sus beneficios en cosmética incluyen propiedades antibacterianas, antiarrugas, antienvjecimiento y antioxidantes, que protegen la piel contra los radicales libres (Ngoc et al., 2023). Estudios han demostrado que la suplementación oral con colágeno hidrolizado puede mejorar la elasticidad, la humedad y reducir la profundidad de las arrugas faciales. Investigaciones también han evaluado la eficacia de colágeno derivado de diversas fuentes, como cartílago de tiburón azul y piel de fletán verde, en formulaciones cosméticas, mostrando mejoras en la textura, humedad, tez y control de grasa de la piel, así como cumplimiento con estándares de eficiencia de sistemas conservantes, lo que subraya el potencial del colágeno en productos cosméticos (Gaikwad & Kim, 2024). Investigaciones han señalado que el colágeno obtenido de la piel, los huesos, las escamas o las aletas derivadas del procesamiento del pescado ofrece una alternativa prometedora para su uso en la industria cosmética. Esto se debe a su alta biocompatibilidad y su falta de efecto citotóxico sobre los queratinocitos humanos, superior en comparación con el hidrolizado de colágeno bovino convencional (Dănilă et al., 2022).



Figura 2. Representación esquemática de la obtención de colágeno a partir de tejidos animales.

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

El mapeo generado mediante la herramienta “VosViewer” presenta visualmente la interconexión de los temas de investigación, proporcionando información sobre la estructura y dinámica del campo (Van Eck & Waltman, 2022). En relación al análisis de autoría por países (Figura 3), se observa que China ha establecido redes de colaboración con naciones como Turquía, Irán y Taiwán, aumentando de este modo la investigación

científica y contribuyendo a los otros países en este sentido. Asimismo, países como Estados Unidos, Italia y Brasil crean redes colaboración.

Por otro lado, se obtuvo el análisis de co-ocurrencia con las palabras claves del autor (Figura 4). Destacan: colágeno, extracción, enzima, péptido, hidrólisis, entre otros, los cuales se interrelacionan entre sí.

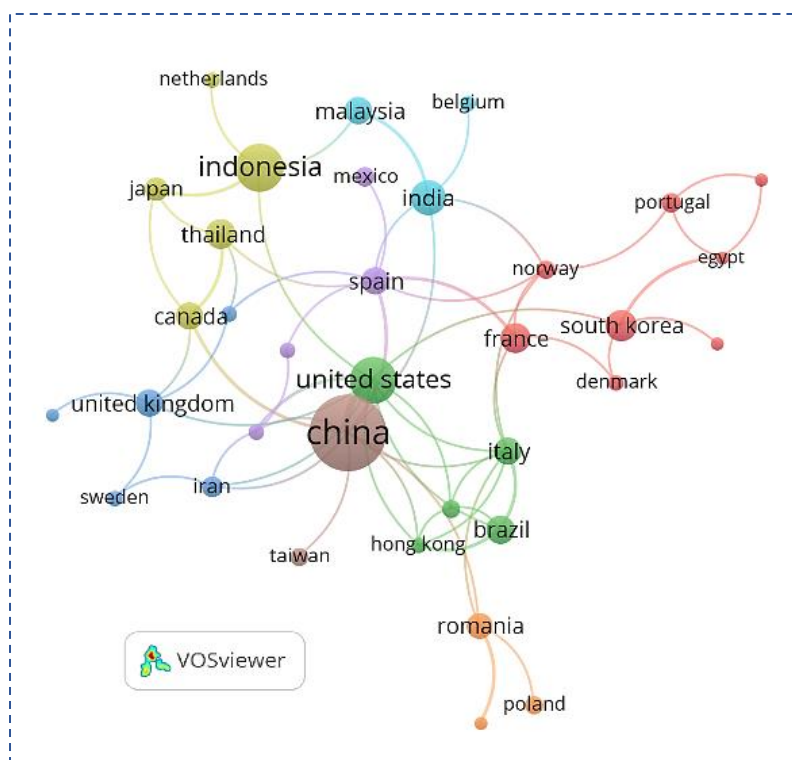


Figura 3. Mapa de visualización de redes por países de autoría.

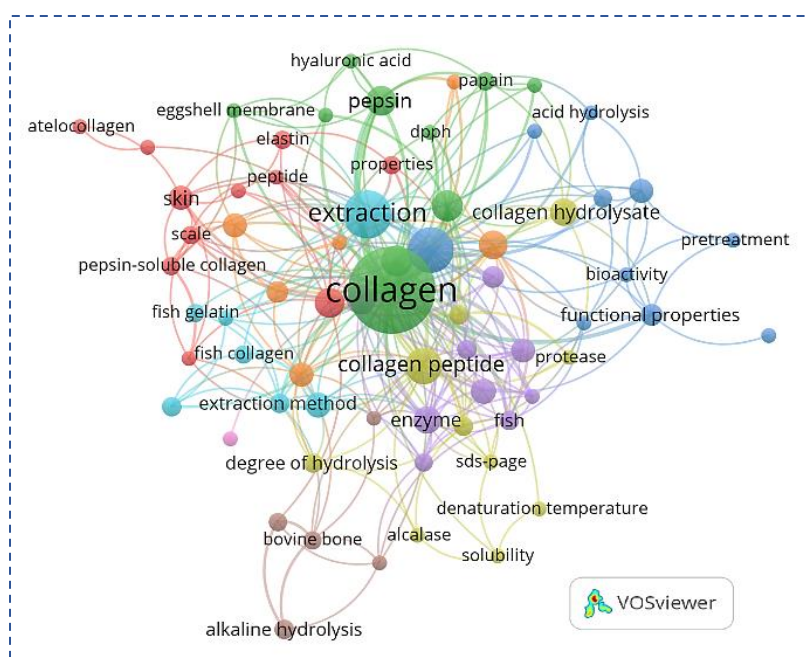


Figura 4. Análisis de co-ocurrencia con palabras claves del autor.

Los enfoques sobre la extracción de colágeno e hidrólisis han ido variando a lo largo del tiempo (Figura 5a). Estudios entre los años 1955 y 2000, registran una inclinación hacia el colágeno obtenido de fuentes animales. Posteriormente, del 2001 al 2013 se enfatiza en la metodología de hidrólisis de colágeno. Finalmente, en la última década, de 2014 a la actualidad, los artículos se enfocan en la extracción de colágeno y la obtención de gelatina mediante hidrólisis enzimática. De la Figura 5b se puede inferir que hay un aumento significativo en la relevancia de la extracción e hidrólisis de colágeno a partir del presente siglo. Por ende, se delimitó el

periodo de búsqueda entre el 2000 y 2024, totalizando 323 artículos.

En general, la producción científica entre el 2000 y 2024 presenta cierta inestabilidad en cuanto a la tasa de publicaciones por año (Figura 6a). A partir del 2016 hubo mayor interés, con un crecimiento notable el 2019, sin embargo, en el 2020 hubo un declive, se asume por la coyuntura debido al Covid-19. En los siguientes años se observó un desarrollo del tema. En el mismo rango de años, se tiene que las principales áreas correspondientes a las publicaciones científicas son agricultura y ciencias biológicas, bioquímica, química e ingeniería (Figura 6b).

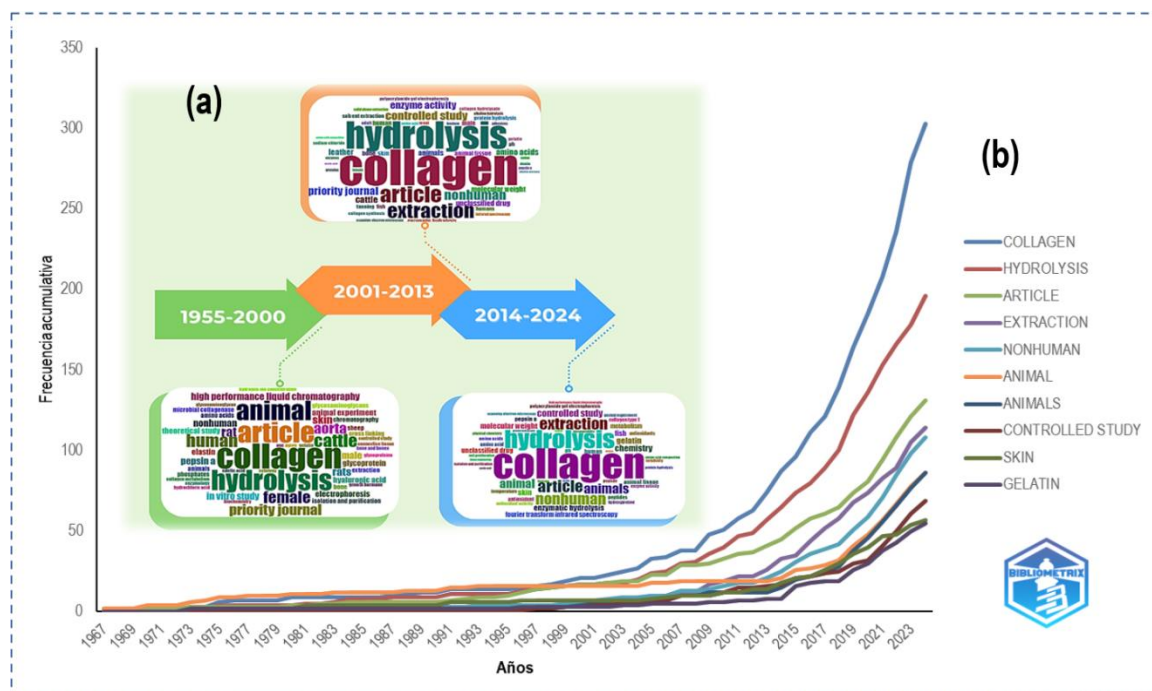


Figura 5. Variación en el tiempo de las palabras más relevantes. (a) Nube de palabras claves. (b) Frecuencia acumulativa de las diez principales palabras en los artículos.

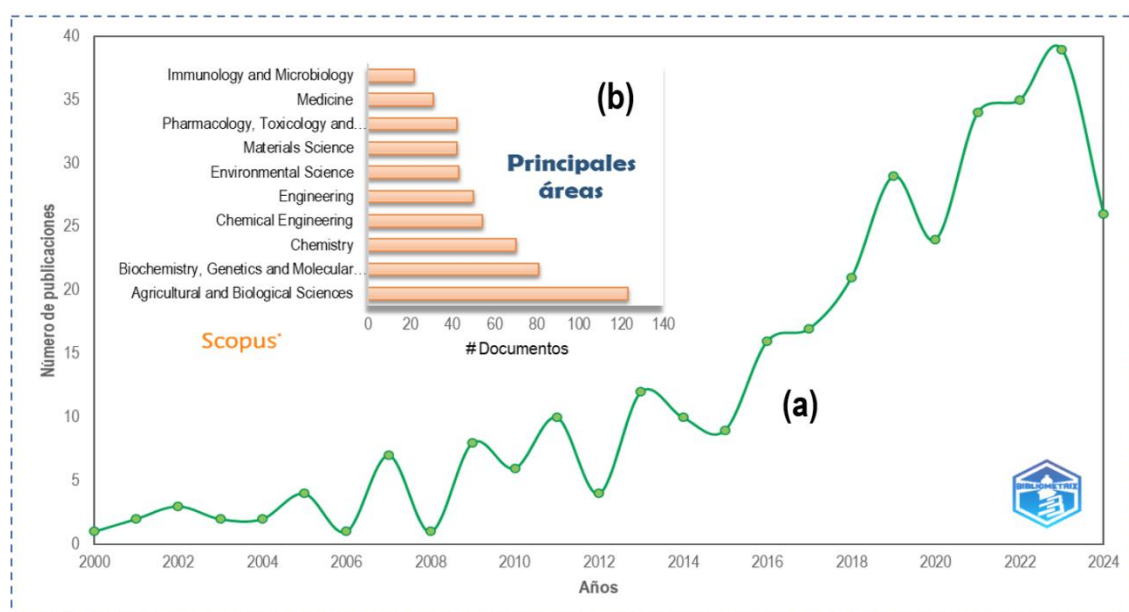


Figura 6. Producción científica entre los años 2000 y 2024. (a) Tasa de publicaciones. (b) Principales áreas de los artículos publicados.

En cuanto a la producción científica por países, China se posiciona como el país de mayor cantidad de publicaciones al respecto, lo cual refleja el incremento en su colaboración internacional en ciencia, participando activamente en proyectos globales y estableciendo colaboraciones estraté-

gicas con instituciones y científicos de todo el mundo, como segundo país tenemos a Brasil que también muestra una notable contribución en términos de publicaciones científicas, destacándose en la investigación dentro de América Latina (Figura 7).

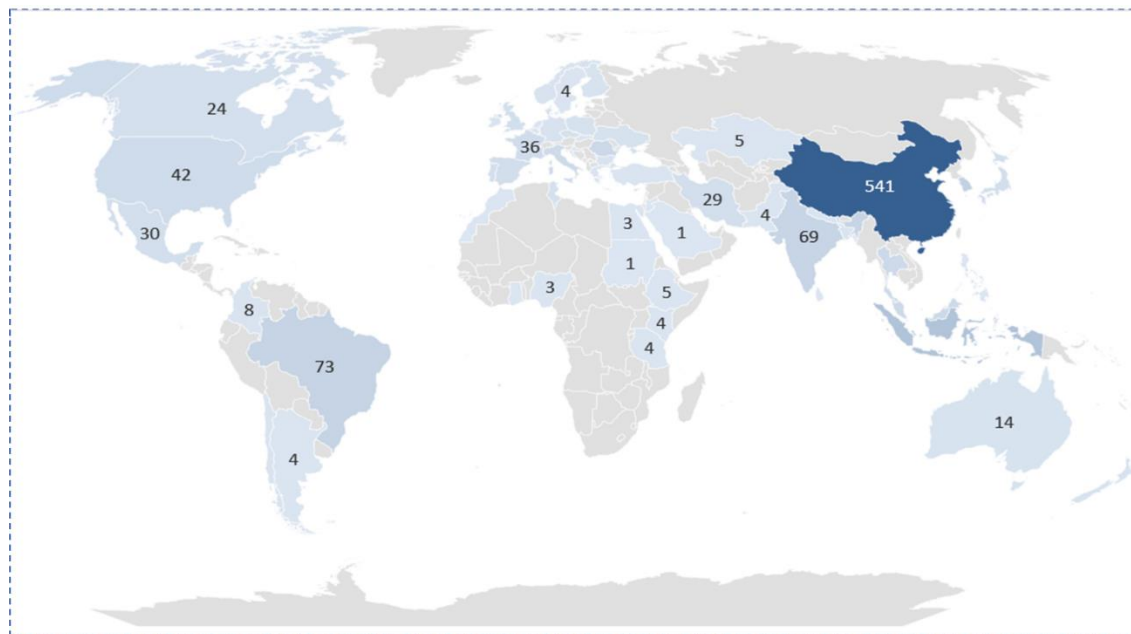


Figura 7. Producción científica por países entre los años 2000 y 2024.

CONCLUSIONES

La extracción de colágeno a partir de subproductos avícolas emerge como una estrategia sostenible e innovadora, aportando valor a los desechos agroindustriales y mitigando su impacto ambiental. Este enfoque ha mostrado aplicaciones prometedoras en sectores como la alimentación, la medicina y la cosmética, destacando avances significativos en las técnicas de extracción que se orientan hacia métodos más eficientes y ecológicos.

El análisis bibliométrico revela un creciente interés global en este campo, con un impulso notable hacia la colaboración internacional y la investigación interdisciplinaria, que seguirán siendo esenciales para futuros desarrollos. Investigaciones futuras podrían centrarse en optimizar los procesos de extracción y explorar nuevas aplicaciones del colágeno en industrias emergentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addad, S., Exposito, J.-Y., Faye, C., Ricard-Blum, S., & Lethias, C. (2011). Isolation, characterization and biological evaluation of jellyfish collagen for use in biomedical applications. *Marine Drugs*, 9(6), 967-983. <https://doi.org/10.3390/md9060967>
- Ahmed, M., Verma, A. K., & Patel, R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>
- AlRyalat, S. A. S., Malkawi, L. W., & Momani, S. M. (2019). Comparing Bibliometric Analysis Using PubMed, Scopus, and Web of Science Databases. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 152, e58494. <https://doi.org/10.3791/58494>
- Anandito, R. B. K., Purwanto, E., Praseptianga, D., & Zaman, M. Z. (2024). Optimization of cobia fish (*Rachycentron canadum*) gelatin extraction with response surface methodology. *Food Research*, 8, 139-147. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(S2\).98](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S2).98)
- Arruda, H., Silva, E. R., Lessa, M., Proença, D., Jr, & Bartholo, R. (2022). VOSviewer and Bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, 110(3), 392-395. <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434>
- Büyükkidik, S. (2022). A Bibliometric Analysis: A Tutorial for the Bibliometrix Package in R Using IRT Literature. *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 13(3), 164-193. <https://doi.org/10.21031/epo.d.1069307>
- Campos, L. D., Santos Junior, V. de A., Pimentel, J. D., Carregã, G. L. F., & Cazarin, C. B. B. (2023). Collagen supplementation in skin and orthopedic diseases: A review of the literature. *Heliyon*, 9(4), e14961. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14961>
- Cao, C., Wang, H., Zhang, J., Kan, H., Liu, Y., Guo, L., Tong, H., Wu, Y., & Ge, C. (2023a). Effects of Extraction Methods on the Characteristics, Physicochemical Properties and Sensory Quality of Collagen from Spent-Hens Bones. *Foods*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/foods12010202>
- Cortial, D., Gouttenoire, J., Rousseau, C. F., Ronzière, M.-C., Piccardi, N., Msika, P., Herbage, D., Mallein-Gerin, F., & Freyria, A.-M. (2006). Activation by IL-1 of bovine articular chondrocytes in culture within a 3D collagen-based scaffold. An in vitro model to address the effect of compounds with therapeutic potential in osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 14(7), 631-640. <https://doi.org/10.1016/j.jo.2006.01.008>
- Dănilă, E., Stan, R., Kaya, M. A., Voicu, G., Marin, M. M., Moroşan, A., Titorencu, I., & Țuțuianu, R. (2022). Valorization of Cyprinus Carpio Skin for Biocompatible Collagen Hydrolysates with Potential Application in Foods, Cosmetics and Pharmaceuticals. *Waste and Biomass Valorization*, 13(2), 917-928. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01569-w>
- Dervis, H. (2019). Bibliometric analysis using bibliometrix an R package. *Journal of Scientometric Research*, 8(3), 156-160. <https://doi.org/10.5530/JSCIRES.8.3.32>

- Dhakal, D., Koomsap, P., Lamichhane, A., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2018). Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres. *Food Bioscience*, 23, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.03.003>
- Farooq, S., Ahmad, M. I., Zheng, S., Ali, U., Li, Y., Shixiu, C., & Zhang, H. (2024). A review on marine collagen: Sources, extraction methods, colloids properties, and food applications. *Collagen and Leather*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s42825-024-00152-y>
- Fauziyah, B., Fatimatussholichah, D., & Syarifah, A. R. (2023). Comparison of Microwave and Oven Extraction Methods on The Quality Of Pork, Beef And Duck Gelatine. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(4), 189-195. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.143115.6248>
- Fu, Y., Therkildsen, M., Aluko, R. E., & Lametsch, R. (2019). Exploration of collagen recovered from animal by-products as a precursor of bioactive peptides: Successes and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(13), 2011-2027. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1436038>
- Gaikwad, S., & Kim, M. J. (2024). Fish By-Product Collagen Extraction Using Different Methods and Their Application. *Marine Drugs*, 22(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/md22020060>
- García Londoño, V. A., Marín González, N., Roa-Acosta, D. F., Agudelo Laverde, L. M., Botero, L., & Lellesch, L. M. (2022). Characterization of By-products with High Fat Content Derived from the Production of Bovine Gelatin. *F1000Research*, 11, 1575. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12862.22>
- Gündem, A., & Tarhan, Ö. (2021). Collagen/Gelatin Extraction from Poultry Skin and Mechanically Deboned Meat (MDM) Residues. *Akademik Gıda*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.976929>
- Jhawar, N., Wang, J. V., & Saedi, N. (2020). Oral collagen supplementation for skin aging: A fad or the future? *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(4), 910-912. <https://doi.org/10.1111/jocd.13096>
- Lamers, D. L., Rigueto, C. V. T., Krein, D. D. C., Loss, R. A., Dettmer, A., & Gutterres, M. (2024). Sequential extraction and characterization of gelatin from turkey (*Meleagris gallopavo*) feet. *Polymer Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05283-0>
- Lima, C. A., Campos, J. F., Filho, J. L. L., Converti, A., da Cunha, M. G. C., & Porto, A. L. F. (2015). Antimicrobial and radical scavenging properties of bovine collagen hydrolysates produced by *Penicillium aurantiogriseum* URM 4622 collagenase. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4459-4466. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1463-y>
- Liu, Y.-X., Chen, Y., Li, M.-L., & Liu, S.-H. (2019). Research Progress of Tilapia Fish Scale Collagen. *Science and Technology of Food Industry*, 40(6), 355-360. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.06.061>
- Maistrenko, L., Iungin, O., Pikus, P., Pokholenko, I., Gorbatiuk, O., Moshynets, O., Okhmat, O., Kolesnyk, T., Potters, G., & Mokrousova, O. (2022). Collagen Obtained from Leather Production Waste Provides Suitable Gels for Biomedical Applications. *Polymers*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/polym14214749>
- Matinong, A. M. E., Chisti, Y., Pickering, K. L., & Haverkamp, R. G. (2022). Collagen Extraction from Animal Skin. *Biology*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/biology11060905>
- Mokrejs, P., Gal, R., Janacova, D., Plskova, M., & Zacharova, M. (2017). Chicken Paws By-products as an Alternative Source of Proteins. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(5), 2209-2216. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330508>
- Mrázek, P., Gál, R., Mokrejš, P., Pavlačková, J., & Janáčková, D. (2020). Proposal of processing chicken by-products tissues into food-grade collagen. *Waste Forum*, 4, 217-227.
- Ngoc, L. T. N., Moon, J.-Y., & Lee, Y.-C. (2023). Insights into Bioactive Peptides in Cosmetics. *Cosmetics*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10040111>
- Nguyen, T. T., Heimann, K., & Zhang, W. (2020). Protein Recovery from Underutilised Marine Bioresources for Product Development with Nutraceutical and Pharmaceutical Bioactivities. *Marine Drugs*, 18(8), 391. <https://doi.org/10.3390/md18080391>
- Nie, L., Wu, Q., Long, H., Hu, K., Li, P., Wang, C., Sun, M., Dong, J., Wei, X., Suo, J., Hua, D., Liu, S., Yuan, H., & Yang, S. (2019). Development of chitosan/gelatin hydrogels incorporation of biphasic calcium phosphate nanoparticles for bone tissue engineering. *Journal of Biomaterials Science. Polymer Edition*, 30(17), 1636-1657. <https://doi.org/10.1080/09205063.2019.1654210>
- Nitsuwat, S., Zhang, P., Ng, K., & Fang, Z. (2021). Fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin for food industry: A meta-analysis. *LWT*, 141, 110899. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110899>
- Pham, X.-L., & Le, T. T. (2024). Bibliometric Analysis and Systematic Review of Research on Expert Finding: A PRISMA-guided Approach. *The International Arab Journal of Information Technology*, 21(4). <https://doi.org/10.34028/iajit/21/4/9>
- Shaik, M. I., Chong, J. Y., & Sarbon, N. M. (2021). Effect of ultrasound-assisted extraction on the extractability and physicochemical properties of acid and pepsin soluble collagen derived from Sharpnose stingray (*Dasyatis zugei*) skin. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 38, 102218. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102218>
- Shalaby, M., Agwa, M., Saeed, H., Khedr, S. M., Morsy, O., & El-Demellawy, M. A. (2020). Fish Scale Collagen Preparation, Characterization and Its Application in Wound Healing. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(1), 166-178. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01594-w>
- Sousa, R. O., Martins, E., Carvalho, D. N., Alves, A. L., Oliveira, C., Duarte, A. R. C., Silva, T. H., & Reis, R. L. (2020). Collagen from Atlantic cod (*Gadus morhua*) skins extracted using CO2 acidified water with potential application in healthcare. *Journal of Polymer Research*, 27(3), 73. <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02048-x>
- Sugiura, H., Yunoki, S., Kondo, E., Ikoma, T., Tanaka, J., & Yasuda, K. (2009). In vivo biological responses and bioresorption of tilapia scale collagen as a potential biomaterial. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 20(10), 1353-1368. Scopus. <https://doi.org/10.1163/092050609X12457418396658>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2020). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2022). *VOSviewer Manual*.
- Widayat, W., Agustini, T. W., Suzery, M., Rahmania, Y. L., Meutia, F., & Tarigan, G. S. I. (2023). Effect of temperature, time, and acid concentration on ph hydrolysis of gelatin with ultrasonic method. 2683. <https://doi.org/10.1063/5.0124909>
- Yan, M., Qin, S., & Li, J. (2015). Study on the self-assembly property of type I collagen prepared from tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin by different extraction methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(9), 2088-2096. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12870>
- Yuan, Z., Ye, X., Hou, Z., & Chen, S. (2024a). Sustainable utilization of proteins from fish processing by-products: Extraction, biological activities and applications. *Trends in Food Science and Technology*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104276>
- Zhang, Y., Olsen, K., Grossi, A., & Otte, J. (2013). Effect of pretreatment on enzymatic hydrolysis of bovine collagen and formation of ACE-inhibitory peptides. *Food Chemistry*, 141(3), 2343-2354. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.058>