

Exoesqueleto de crustáceos para la obtención y caracterización mecánica de Quitina en aplicaciones biomédicas

Crustacean Exoskeletons for the Extraction and Mechanical Characterization of Chitin for Biomedical Applications

Martha E. Sevilla Abarca¹  Pablo R. Valle Velasco¹  María B. Paredes Robalino¹ 
Alejandra M. Lascano Moreta¹ 

¹ Universidad Técnica de Ambato. Ecuador Ambato.

Resumen

Introducción: En el campo de las aplicaciones biomédicas, la utilización de materiales biodegradables y biocompatibles es esencial. En este contexto, los residuos de caparazones de mariscos representan una alternativa innovadora y sustentable para la producción de biomateriales. Este estudio aborda el aprovechamiento de los desechos de caparazones de camarón y cangrejo, los cuales generan un olor desagradable que afecta la calidad de vida de los habitantes en el centro de la ciudad de Ambato. Se destaca la necesidad de investigar las propiedades mecánicas de estos exoesqueletos para su posible uso en biomedicina, específicamente en la ingeniería de tejidos.

Objetivo: El objetivo de este estudio es analizar las propiedades mecánicas de los exoesqueletos de camarón y cangrejo, con el fin de evaluar su potencial para la obtención de quitina y su posterior aplicación en el ámbito biomédico.

Materiales y Métodos: Para la obtención de la quitina, se utilizaron tres tipos de especies de exoesqueletos: camarón marón, camarón rojo y cangrejo, los cuales son los más comunes en la región. Los caparazones fueron lavados para eliminar impurezas, luego se secaron y se tamizaron. El polvo resultante se almacenó en un recipiente hermético. Posteriormente, se utilizó este polvo para la producción de quitina a través de un proceso químico que incluyó desproteinización con NaOH 0,1N y desmineralización con HCl 0,1N. La quitina obtenida fue moldeada siguiendo la norma ASTM D638-10 y secada a temperatura ambiente.

Resultados: La caracterización del material mostró que la quitina obtenida presenta una morfología irregular, con partículas de diferentes tamaños, lo que sugiere una estructura compleja y una mayor área superficial. Las propiedades mecánicas indicaron que la dureza del material fue de 88,15 HD, lo que clasifica al material como relativamente duro. Además, la rugosidad medida fue de 5,1 μm y el esfuerzo de tensión alcanzó 7,43 MPa para el camarón marrón, lo que indica que el material es capaz de soportar una cantidad significativa de estrés, lo cual es útil para aplicaciones biomédicas.

Conclusiones: El estudio demuestra que los exoesqueletos de camarón y cangrejo pueden ser utilizados de manera efectiva para la obtención de quitina, un biomaterial con características mecánicas adecuadas para aplicaciones biomédicas, como la ingeniería de tejidos. Las propiedades destacadas, como la dureza y la capacidad de soportar tensión, confirman su potencial para ser un material útil en este campo.

Palabras clave: Quitina, desproteinización, desmineralización, propiedades mecánicas

Abstract

Introduction: In the field of biomedical applications, the use of biodegradable and biocompatible materials is essential. In this context, seafood shell waste represents an innovative and sustainable alternative for the production of biomaterials. This study addresses the use of shrimp and crab exoskeleton waste, which generates an unpleasant odor that affects the quality of life of residents in the center of Ambato city. The study highlights the need to investigate the mechanical properties of these exoskeletons for potential use in biomedicine, specifically in tissue engineering.

Objective: The objective of this study is to analyze the mechanical properties of shrimp and crab exoskeletons to evaluate their potential for chitin extraction and subsequent application in the biomedical field.

Materials and Methods: For chitin extraction, three types of exoskeleton species were used: brown shrimp, red shrimp, and crab, the most common in the region. The shells were washed to remove impurities, then dried and sieved. The resulting powder was stored in an airtight container. This powder was then used to produce chitin through a chemical process involving deproteinization with NaOH 0,1N and demineralization with HCl 0,1N. The obtained chitin was molded according to ASTM D638-10 and dried at room temperature.

Results: The material characterization showed that the obtained chitin had an irregular morphology with particles of different sizes, suggesting a complex structure and a larger surface area. The mechanical properties indicated that the material's hardness was 88,15 HD, classifying it as relatively hard. Additionally, the roughness measured 5,1 μm , and the tensile strength reached 7,43 MPa for brown shrimp, indicating that the material can withstand a significant amount of stress, making it suitable for biomedical applications.

Conclusions: The study demonstrates that shrimp and crab exoskeletons can be effectively utilized to obtain chitin, a biomaterial with mechanical properties suitable for biomedical applications such as tissue engineering. The highlighted properties, such as hardness and tensile strength, confirm its potential to be a useful material in this field.

Keywords: Chitin, deproteinization, demineralization, mechanical properties.

¿Cómo citar?

Sevilla M E, Valle PR, Paredes MB, Lascano A M. Exoesqueleto de crustáceos para la obtención y caracterización mecánica de Quitina en aplicaciones biomédicas. Ingeniería y Competitividad, 2025, 27(2)e-20114004

<https://doi.org/10.25100/iyc.v27i2.14404>

Recibido: 18/jun/24

Revisado: 25/sept/24

Aceptado: 24/Feb/25

Español Online: 5 /sept/25

Correspondencia

 marthaesevilla@uta.edu.ec



Contribución a la literatura

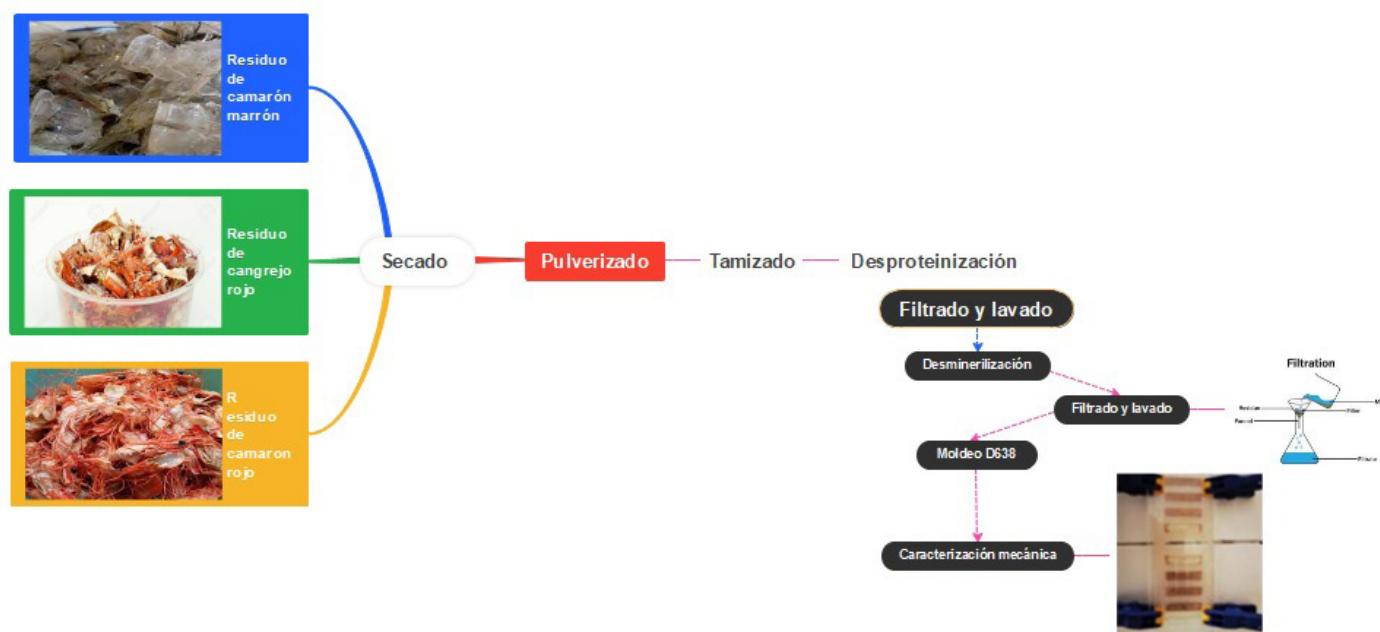
El estudio se realizó para extraer quitina de caparazones de camarones y cangrejos (residuos abundantes de la industria pesquera) y caracterizar sus propiedades mecánicas y microestructurales. Esta investigación busca explorar métodos sostenibles para la obtención de quitina y evaluar sus posibles aplicaciones en campos como biomateriales, embalajes y remediación ambiental.

Los resultados más relevantes incluyen:

Los resultados más relevantes mostraron que la quitina extraída de caparazones de camarones y cangrejos presenta alta pureza, excelentes propiedades mecánicas (p. ej., resistencia a la tracción, dureza y rugosidad) y una microestructura bien definida.

Estos resultados contribuyen a lo siguiente:

Estos hallazgos contribuyen al desarrollo de materiales sostenibles de alto rendimiento para aplicaciones en biomedicina, embalajes y materiales compuestos, destacando el valor de los subproductos marinos. La caracterización mecánica y microestructural proporciona datos valiosos para el diseño de compuestos a base de quitina con propiedades personalizadas. Además, se midió la rugosidad superficial, esencial para aplicaciones como recubrimientos o implantes biomédicos.



Introducción

Se estima que la producción mundial de camarón alcanzará aproximadamente 5,6 millones de toneladas métricas (MMT) en 2023. Se espera que los cinco principales productores, a saber: Ecuador, China, India, Vietnam e Indonesia, contribuyan colectivamente con el 74% de la producción mundial en 2023 (1). La industria de procesamiento de camarón genera alrededor de 3,8 millones de toneladas de desechos anualmente a escala mundial, lo que constituye el 50-60% del volumen total de captura (2).

El contenido de quitina presente en las conchas de los moluscos oscila entre el 8% y el 40% (3), y este compuesto químico tiene aplicaciones médicas en el tratamiento de infecciones microbianas y cáncer (4). El carácter hidrofílico y las propiedades antimicrobianas de la quitina son sus aplicaciones más importantes, especialmente en lo que respecta a la producción de nuevos biomateriales (5). El quitosano y la quitina son sustancias clave en las formulaciones farmacéuticas que tienen propiedades antimicrobianas y antibacterianas, y también tienen actividad antitumoral contra las líneas celulares de leucemia monocítica humana (6). La mayoría de estas aplicaciones requieren quitina altamente purificada, lo que subraya el gran interés en optimizar su extracción para minimizar las impurezas (7).

La quitina es un aminopolisacárido lineal que consta principalmente de unidades de 2-acetamido-2-desoxi- β -D-glucopiranosa unidas a β -(1-4) y parcialmente de 2-amino-2-2 unidades unidas a β -(1-4). desoxi- β -D-glucopiranosa (8) (9) (10). Se presenta naturalmente como tres modificaciones polimórficas: α -, β - y γ -quitina. α -quitina es la forma más abundante de quitina; se encuentra en los exoesqueletos de insectos y crustáceos. Por el contrario, la β -quitina se encuentra en la pluma del calamar, el cuerpo de los gusanos tubulares y algunas otras fuentes. En particular, la γ -quitina, la forma polimórfica menos común y menos estudiada de quitina, se puede aislar de los hongos en pequeñas cantidades (11) (12) (13). Este biopolímero está compuesto por unidades de 2-acetamido-2-desoxi- β -D-glucosa unidas por enlaces β -(1-4), y puede obtenerse fácilmente mediante el tratamiento químico o biológico de los desechos de crustáceos (14) (15).

Sin embargo, la extracción de quitina de todas las fuentes biológicas antes mencionadas utiliza el mismo procedimiento de tratamiento químico simple, a saber, desmineralización, desprotección y decoloración (16). El almacenamiento de materias primas y la extracción de estos componentes varían significativamente, lo que sugiere la necesidad de estandarizar el proceso. Las características distintivas del quitosano: un azúcar polimérico natural que se encuentra principalmente en los exoesqueletos duros de varios crustáceos (17), como cangrejos, langostas y camarones, están bien documentadas (14). Se presenta en forma de microfibras cristalinas ordenadas que sirven como componentes estructurales en varios organismos, insectos y microorganismos marinos (18). El complejo quitina-glucano (CGC) es un componente primario de la pared celular de los hongos (19). Las nanopartículas a base de quitosano han encontrado un uso generalizado en una variedad de aplicaciones debido a sus propiedades ventajosas, incluida la biodegradabilidad, la alta permeabilidad, la no toxicidad para los humanos y la rentabilidad (19). El uso de nuevos hidrogeles a base de quinina se ha convertido en una vía prometedora para nuevas aplicaciones biomédicas (20) (10). Se ha identificado como una fuente de proteínas con una actividad biológica significativa, que incluye propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antihipertensivas (21).

Por el contrario, se ha considerado en cierta medida la posibilidad de utilizar los retardantes de llama que reducen la capacidad de formación de película y las propiedades mecánicas de los recubrimientos poliméricos (22). El estudio utilizó exoesqueletos de mariscos como *Farfantepenaeus californiensis* (camarón marrón), *Farfantepenaeus brevirostris* (camarón rojo) y exoesqueletos de cangrejo ecuatoriano. El procedimiento para la extracción de quitina implica la eliminación de proteínas y minerales mediante procesos de desproteinización y desmineralización. Las características mecánicas del material son indicativas de su confiabilidad, incluida la plasticidad, la fatiga y la fractura, lo que puede provocar deterioro o falla mecánica. Estas características son un resultado directo del comportamiento de los efectos cristalinos y son esenciales para mejorar y optimizar las propiedades mecánicas de un material (23). El objetivo de la investigación es obtener quitina a partir de exoesqueletos de residuos de moluscos y determinar qué biomaterial ofrece las propiedades mecánicas favorables para aplicaciones biomédicas. El artículo proporciona una visión general completa del proceso de producción de quitina, acompañado de análisis en profundidad que incluyen la caracterización mecánica, el examen microscópico y la caracterización espectroscópica infrarroja de la quitina.

Materiales y métodos

Materiales y reactivos, reactivos químicos

Biomasa (exoesqueletos de camarón: (camarón-marrón), (camarón-rojo) y cangrejo) de Ecuador, reactivos: Ácido clorhídrico 0,1 N Sigma Aldrich 37%, hidróxido de sodio 0,1 N y agua destilada.

Equipo

Se utiliza un horno de convección mecánico de precisión para secar la muestra, el (molino de bolas ecológico) se utiliza para pulverizar la muestra, luego se pasa a través del tamiz de control (también conf.to bs410nfx11501,504 uni 8620, din 4187, 4188), para obtener partículas muy finas. El agitador magnético Thermo Scientific se utiliza para el proceso químico del material, ACZET.E1 Shore Durómetro Precision Balance utilizado para medir la dureza del material, en la escala Shore donde 0 indica una dureza muy baja y 100 una dureza muy alta.

Para la prueba se utilizó la norma ISO 868 (24). Plásticos y ebonitas: determinación de la dureza por indentación mediante un durómetro Shore tipo D. La prueba de dureza Shore D es una prueba no destructiva que determina la resistencia de un material a la penetración. Se usa comúnmente para plásticos y elastómeros.

El procedimiento implica la selección de una muestra plana y lisa del material que se va a probar. Posteriormente, se aplica a la superficie un durómetro Shore D, ejerciendo una fuerza definida. El penetrador penetra en el material y la profundidad de penetración se mide en una escala graduada. Esta lectura, expresada en la escala Shore D, proporciona un valor numérico indicativo de la dureza del material.

Para obtener un resultado promedio preciso y garantizar la representatividad de los datos, es imperativo realizar una serie de mediciones en múltiples puntos de la muestra. Para el propósito de este estudio, se utilizó el medidor de rugosidad portátil Mitutoyo, equipado con una sonda

extraíble, para realizar la rigurosa prueba. El espécimen se colocó sobre una superficie horizontal y la sonda recorrió la superficie con un rango de 16 milímetros y un rango de medición de 360 micrómetros (-200 μm + 160 μm) y una sonda de diamante ISO Standard 4287:1997 (E/F) (24).

Se utilizó el microscopio electrónico de barrido (SEM) de la marca VEGA TESCAN para obtener imágenes de alta resolución de la superficie, lo que permitió la observación de detalles finos a nivel microscópico. Este instrumento emplea un voltaje de 220 V, un filamento de tungsteno y un cañón de electrones de 30 KV. Además, se empleó espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) utilizando el instrumento PerkinElmer Model Spectrum Two. Este último está equipado con un estándar interno que se utiliza para identificar los picos de los grupos funcionales de quitina. La máquina de ensayos de tracción (Shimadzu) tiene una capacidad de carga máxima de 50 kN y una fuerza equivalente a 101,97 kilogramos de fuerza. Se utiliza para realizar ensayos de tracción en materiales, lo que permite evaluar sus propiedades mecánicas, como la resistencia, la ductilidad y el límite elástico. El ensayo de tracción se realiza a una velocidad de 1 mm/min, de acuerdo con la norma D638. La prueba utiliza mordazas planas con una abertura que mide entre 0 y 7 mm. La máquina funciona a una tensión de entrada de 220 V y una capacidad de carga máxima de 50 kN.

Figura 1.

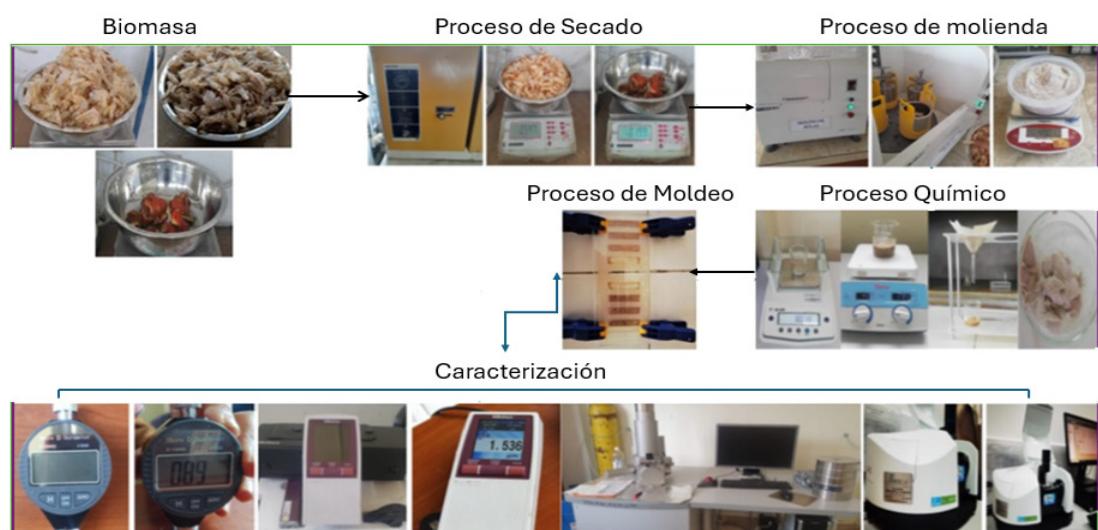


Figura 1 Diagrama del proceso de obtención de quitina

Producción de quitina

Se obtuvo una colección de exoesqueletos de moluscos de la región central de Ambato, meticulosamente categorizados de acuerdo a su clasificación taxonómica: *Farfantepenaeus californiensis* (C1) (camarón marrón), *Farfantepenaeus brevirostris* (C2) (camarón rojo) y *Brachyura* (C3) (cangrejo). Las cáscaras se lavaron meticulosamente con abundante agua para eliminar cualquier residuo de carne o impurezas. Luego se almacenaban en recipientes herméticos para mantener su frescura y evitar la contaminación. Las muestras se almacenaron a una temperatura de -20 °C. Los pesos utilizados se enumeran en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1 Biomasa del exoesqueleto fresco - biomasa seca

| Exoesqueleto | Biomasa en fresco (g) | Biomasa seca (g) $T(60 \text{ t} = 24\text{h})^{\circ}\text{C} \approx$ |
|--------------------|--------------------------|--|
| C1(camarón marrón) | 1397 | 547 |
| C2 (camarón rojo) | 412 | 306 |
| Exoesqueleto | Biomasa en fresco (g) | Biomasa seca (g) $T(65 \text{ t} = 24\text{h})^{\circ}\text{C} \approx$ |
| C3 (cangrejo) | 348 | 199 |

Posteriormente, las muestras C1 y C2 se molieron a una velocidad de 520 rpm durante 6 horas, mientras que la C3 se dejó durante 24 horas debido a su carcasa notablemente robusta. El peso base de la muestra de camarón en el suelo es de 490,1 g. Posteriormente, los polvos de las muestras C1, C2 y C3 se tamizaron meticulosamente utilizando un tamiz estándar (DIN 4187, 4188) y se almacenaron en recipientes de plástico herméticos para garantizar su conservación. Posteriormente, se mide, tritura y tamiza una cantidad de 8 g de residuos de camarón. A continuación, los residuos se someten a un proceso de desproteinización con hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 0,1 N, con una relación sólido-líquido de 1:15. A partir de entonces, la mineralización se lleva a cabo con HC1 (0,1 N) en una proporción de (1:15) a una temperatura de 40 °C durante una duración de 6 horas (25) (26). Las muestras se lavan a fondo con abundante agua, la quitina obtenida se coloca en moldes con dimensiones según la norma ASTM D638 - 10, que se refiere al "Método de ensayo estándar para determinar las propiedades de tracción de los plásticos" (27).

Resultados y discusión

Caracterización de la quitina

Para la microscopía electrónica de barrido, se obtuvo una muestra seca siguiendo los procedimientos de desmineralización y desproteinización a una temperatura ambiente de 21,3 °C y una humedad relativa de 57,1%.

Análisis de microscopía electrónica de barrido

La muestra de quitina que ha sido sometida a un secado y pulverización preliminares, se coloca posteriormente en la cámara del microscopio para su análisis a temperatura ambiente. A una resolución de 500 µm, se observa una morfología irregular en la Figura 2a, caracterizada por una diferencia en los tamaños de partícula que varían de (1017,41 µm - 251,69 µm) con aglomeraciones en la superficie. Estas partículas irregulares tienen una gran superficie (28) (29) y son más contractivas con probabilidad de reaccionar entre sí (30). En la Figura 2b se presenta una microestructura donde se observan aglomeraciones del biomaterial con geometría irregular con distancias que van desde 31,66 µm hasta 1007,69 µm. Estas partículas grandes y pequeñas generan un mayor anclaje en el biomaterial (31), pero también promueven interacciones biológicas para el éxito de implantes y dispositivos médicos.

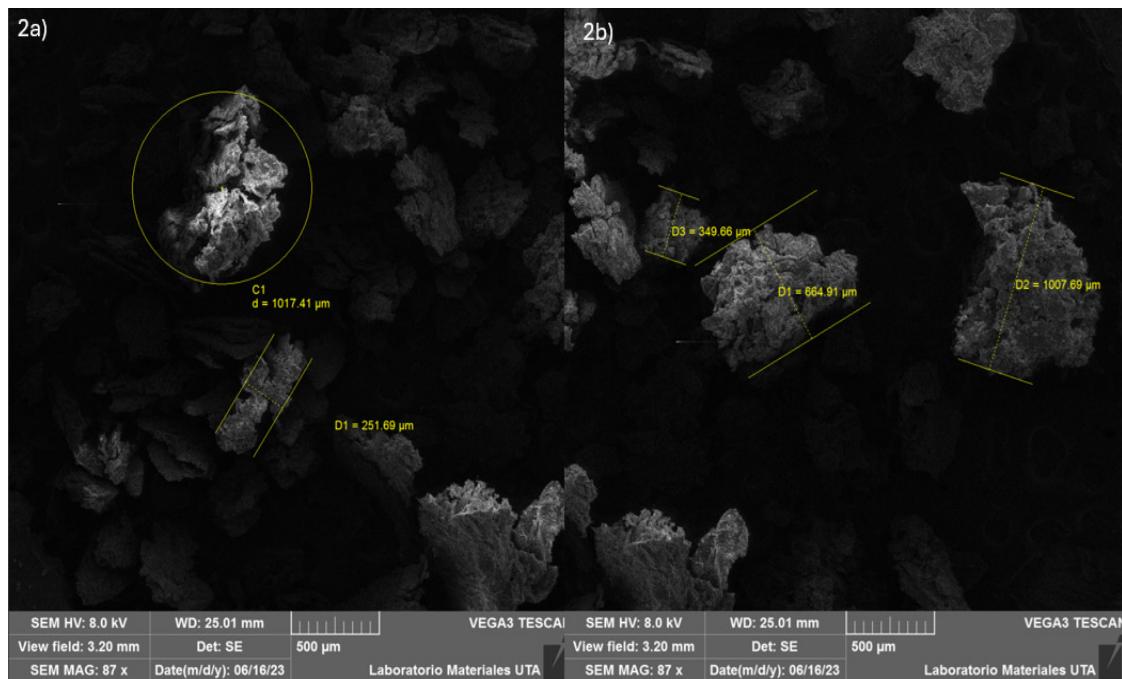


Figura 2a, 2b. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de quitina de camarón marrón

Como se ilustra en las Figuras 3a y 3b, la muestra seca y pulverizada de quitina de camarón rojo muestra una morfología rugosa, caracterizada por bloques irregulares con porosidades y cavidades que miden 27,73 μm . Esta morfología sugiere la utilización de amonio, lo que resulta en una estructura compleja que potencialmente impacta las características funcionales del biomaterial. La formación de estructuras porosas conduce a una reducción de la resistencia del material. La influencia de la porosidad en la localización de las tensiones se evidencia aún más por los hallazgos reportados en la investigación (32).

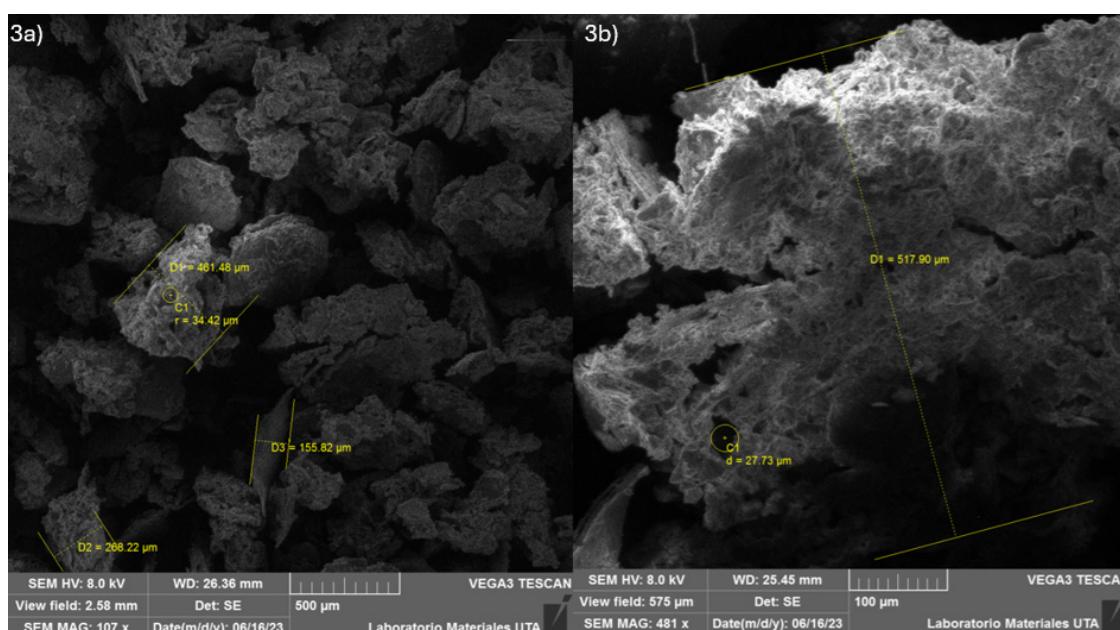


Figura 3a, 3b. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de quitina de gamba roja

Análisis FTIR

Las tres muestras de quitina se caracterizaron utilizando el método de disco KBr en un espectrómetro FTIR. Se utilizaron dos espectrofotómetros con un rango de frecuencia de (4000-400) cm^{-1} y se analizaron las muestras cero de la especie. Se examinaron los picos de los espectros para identificar los grupos funcionales.

Como se ilustra en la Figura 4, el pico a 3275,23 cm^{-1} , correspondiente a NH y OH, se observa en la región de 3600-3500 cm^{-1} . Este pico es indicativo del estiramiento del NH, característico del grupo amida, como se observa en la muestra cero del camarón marrón. Haciendo referencia a (32) y (33), este hallazgo se corrobora aún más. En la banda (2924,76-2329,6) cm^{-1} es evidente la presencia de estiramientos simétricos y asimétricos (anillos CH y CH₃). La banda (1552,58-1620) cm^{-1} exhibe picos característicos (1640,2 - 1520,3) cm^{-1} , correspondientes a las amidas I y amidas II. Esta observación indica la presencia de enlaces C-O-O y C = O, facilitados por la presencia de enlaces de hidrógeno. Entre la región (1300 - 800) cm^{-1} , se observan picos característicos de 1025,4 cm^{-1} correspondientes al CO, y el suelo a 865,3 cm^{-1} se atribuye al estiramiento del CO y el puente de oxígeno.

En la región (1070-1025) cm^{-1} , se observa un pico a 1025 cm^{-1} , con señales atribuidas al (CO del anillo COH característico de la estructura del sacárido). En la banda (960-875) cm^{-1} se observa un pico a 865 cm^{-1} del dímero carboxilo (34). Además, se evidencia una variación sustancial en los índices de absorción entre la muestra cero y la muestra de quitina de camarón marrón, lo cual se atribuye a alteraciones estructurales en el biomaterial.

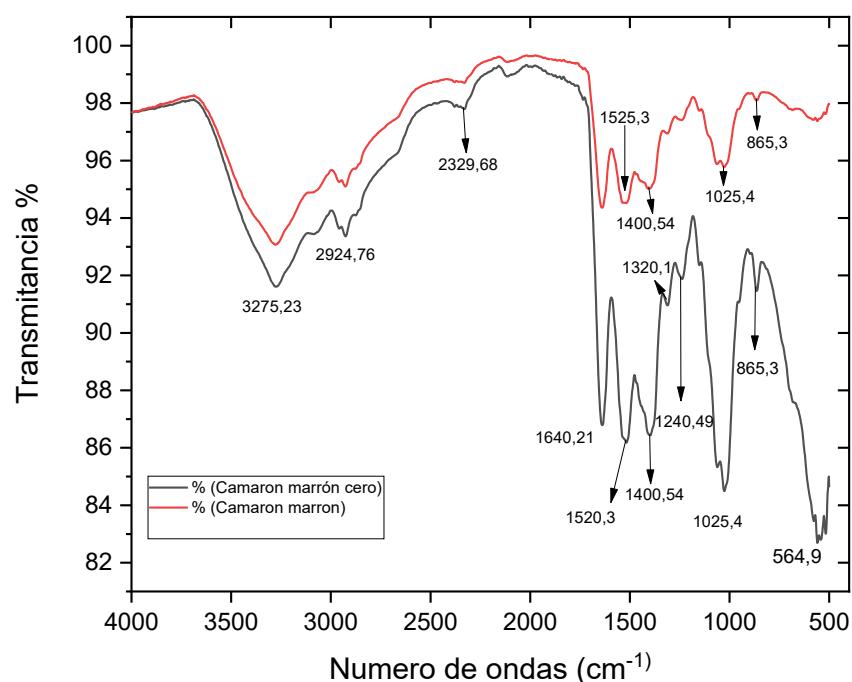


Figura 4 Análisis FTIR de la muestra cero y la muestra de camarón marrón C1

Como se ilustra en la Figura 5 los picos de absorción entre la muestra cero y la muestra C2 (camarón rojo) exhiben picos ($3059,6 - 3266,9$ cm^{-1}) que son característicos de los grupos funcionales NH y OH de la banda ($3600 - 3500$ cm^{-1}). Los picos ($2379,7 - 2129,3$) muestran interacciones simétricas CH y CH3. La región $1630-1315,1$ cm^{-1} corresponde a un grupo carbonilo, y la región 1025 exhibe un pico atribuido al CO del anillo COH. Entre los picos de la banda ($960-875$) cm^{-1} de ($880,16 - 685,6$) cm^{-1} , se observa un pico de 560 cm^{-1} en la banda de carboxilo, indicativo de una torsión fuera del plano del monómero. La variación en las proporciones entre la muestra cero y la quitina de la gamba roja destaca una mayor absorción en la quitina de la gamba roja, disminuyendo los picos de las amidas además de las señales correspondientes al estiramiento del CO. Este aumento significativo de la absorbancia se atribuye al cambio en las estructuras biométricas (35).

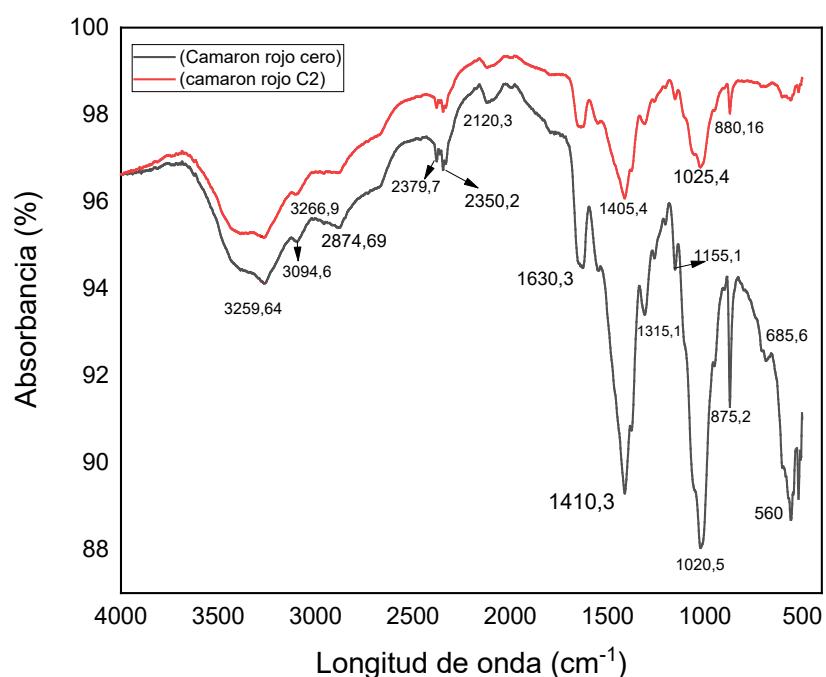


Figura 5 Análisis FTIR de la muestra cero y la muestra de gamba roja C2

Como se ilustra en la Figura 6, la muestra de cangrejo cero y la muestra de quitina de cangrejo (C3) exhiben picos característicos dentro de la región de $3275,4$ a $3284,9$ cm^{-1} , correspondientes a NH y OH debido al estiramiento del grupo amida. Se observa un pico a 2945 cm^{-1} , indicativo de estiramiento de CH. Las bandas ($1405,4 - 1315,1$) cm^{-1} , exhiben los grupos correspondientes a las amidas I y II, mientras que un pico de $1399,3$ cm^{-1} , se observa en la región de la banda asimétrica del grupo carbonilo. Entre las bandas ($1300 - 800$) cm^{-1} , se observa un pico a $1029,8$ cm^{-1} , correspondiente a los grupos carbonilo del puente de oxígeno, que son característicos de la estructura del sacárido. En la banda ($584,6 - 563,8$) cm^{-1} , hay alteraciones planas en el dímero de

carboxilo. Las variaciones en las absorbancias de las tres muestras son indicativas de la flexión de la amida, que implica el estiramiento de C-O que son característicos de la estructura del sacárido (36) (37) (38).

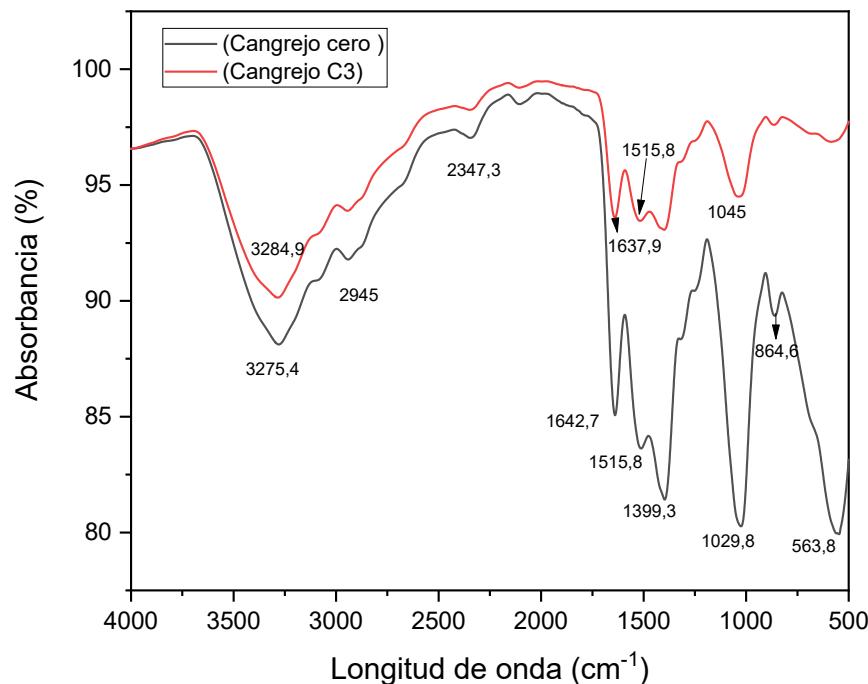


Figura 6 Análisis FTIR de la muestra cero y la muestra C2 de gamba roja

Análisis de dureza

Como se ilustra en la Figura 7 la prueba de dureza de la placa de quitina seca se realizó a una temperatura de 21 °C. Un análisis comparativo de los datos obtenidos se presenta en la Tabla 2, que proporciona la dureza promedio de las muestras C1, C2 y C3.

Tabla 2. Comparación de medias de dureza (HD)

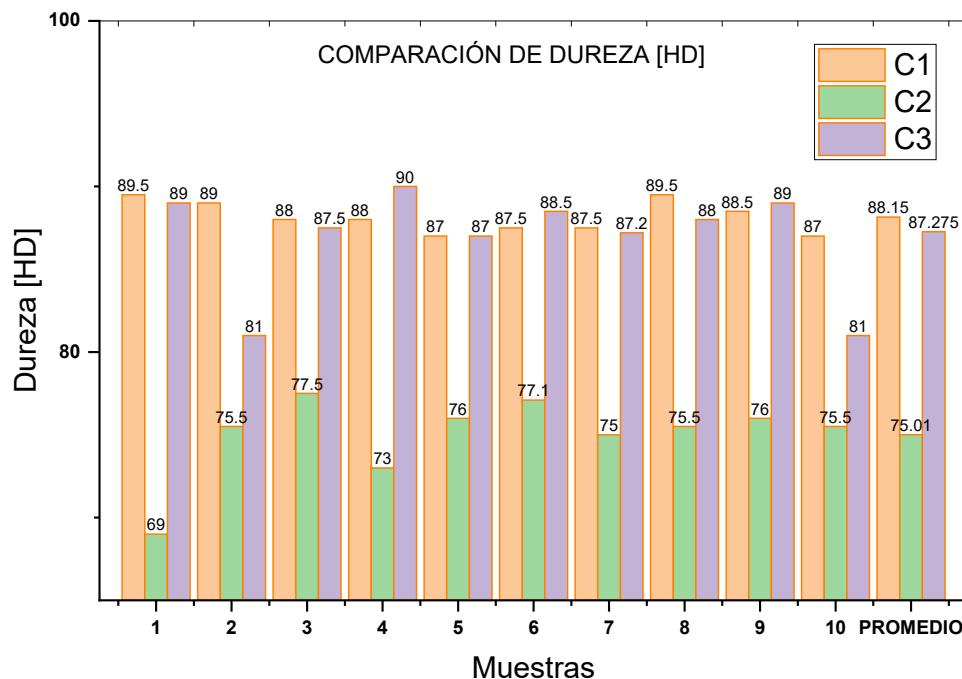
| Muestra | Promedio (HD) | σ |
|--------------------|---------------|----------|
| C1(camarón marrón) | 88,150 | 0,944 |
| C2 (camarón rojo) | 75,01 | 2,436 |
| C3 (cangrejo) | 86,82 | 3,20 |

En la Tabla 3 se presenta la dureza media de quitina de los camarones marrones (87,475; 88,825) con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 3. Intervalo de confianza para camarones marrones C1, valores medios de dureza

T de una muestra: C1

| N | Medio | Desv. Est. | Error estándar de la media | IC del 95% para μ |
|----|-------|------------|----------------------------|-----------------------|
| 10 | 88.15 | 0.944 | 0.299 | (87.475; 88.825) |

 μ : media de C1**Figura 7** Comparación de durezas

Análisis de rigor

La prueba de rugosidad se realiza en cada placa seca de las tres especies a temperatura ambiente. Esta prueba implica el uso de un perfilómetro, que es un dispositivo que puede registrar la topografía de la superficie. El perfilómetro se mueve sobre la superficie a examinar y, a medida que avanza, registra las desviaciones verticales de la superficie con respecto a una línea media. Los datos obtenidos se procesan para obtener parámetros de rugosidad, como la rugosidad media. Este parámetro proporciona información cuantitativa sobre la textura de la superficie, que es esencial para evaluar el rendimiento funcional, el acabado y la calidad de una pieza. Como se muestra en la Figura 8, una comparación de los datos obtenidos con la rugosidad promedio de las tres muestras (C1, C2, C3) revela que la muestra C1 presenta la rugosidad más alta, con un valor de 5,1 μm , mientras que la muestra C3 muestra la rugosidad más baja, con un valor de 0,3 μm .

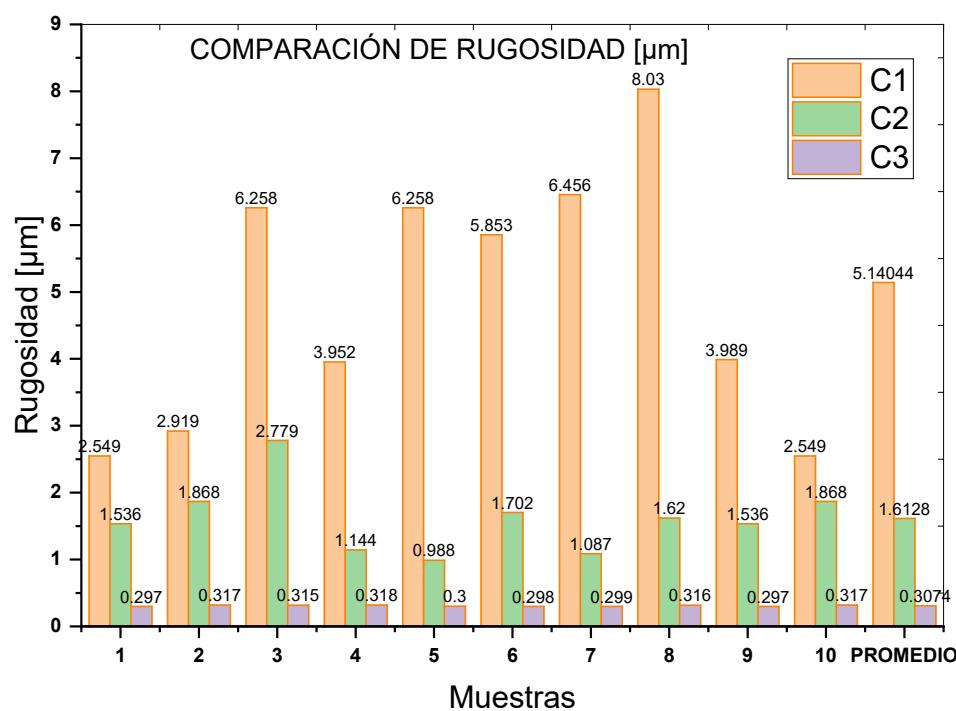


Figura 8 Comparación de la rugosidad

Análisis de estrés

Como se ilustra en la Figura 9, se presenta una curva de tensión-deformación derivada de una prueba mecánica realizada en seis probetas. El espécimen 1 muestra el pico más alto con una tensión máxima de aproximadamente 7 MPa. Exhibe una disminución sustancial de la tensión después del pico, alcanzando posteriormente un estado estable que persiste hasta una deformación de aproximadamente 1.0%. Esto significa un comportamiento más dúctil. La muestra 2 presenta una tensión máxima de aproximadamente 5,5 MPa. Sin embargo, después del pico, se observa una caída rápida y más pronunciada, lo que indica un comportamiento más frágil debido a la ausencia de una fase de deformación estable significativa. En contraste, la muestra 3 exhibe una tensión máxima de 7.2 MPa. No obstante, la caída post-pico es menos brusca, lo que sugiere una ligera ductilidad antes de la fractura final. El cuarto espécimen exhibió una tensión máxima de 7,5 MPa, seguida de un rápido descenso, sin embargo, demostró una ligera capacidad de carga con una deformación mínima. Las muestras 5 y 6, con una tensión máxima de 3,5 MPa, mostraron una caída rápida, lo que sugiere una posible fractura temprana o un defecto en la muestra. Las variaciones observadas en los gráficos podrían atribuirse a las propiedades intrínsecas del material, defectos en las muestras o diferencias en las condiciones de ensayo.

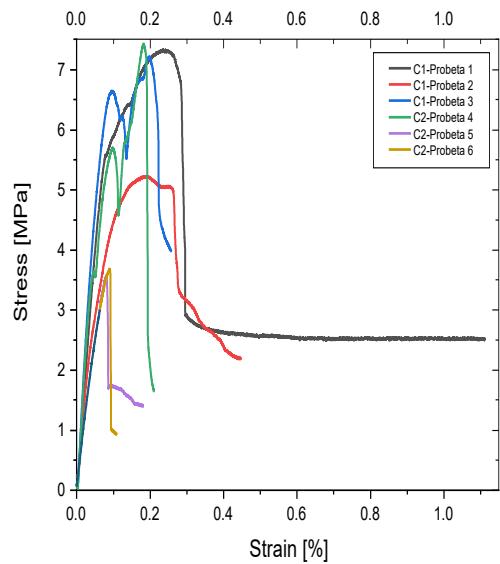


Figura 9 Curvas de tensión-deformación de la quitina Camarones marrones

Como se ilustra en la Figura 10 el material inicialmente exhibe un comportamiento elástico, seguido de una resistencia máxima de aproximadamente 4.6 MPa y un grado significativo de ductilidad después de la caída de tensión. Aunque el material experimenta una reducción en la capacidad de carga después del pico máximo, mantiene una capacidad residual constante de 3 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren una deformación plástica controlada antes de la fractura. La deformación máxima registrada fue de el 12%, lo que sugiere la capacidad del material para absorber energía antes de la falla completa (cangrejo).

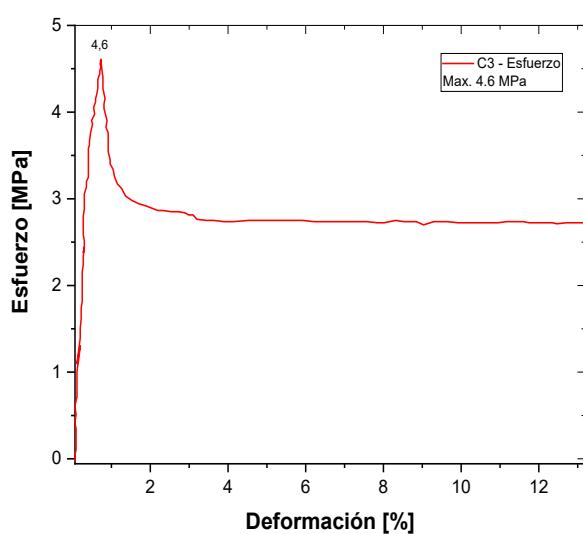


Figura 10. Curvas de tensión-deformación de la quitina de la gamba roja

Una revisión de los estudios existentes sobre la quitina revela una resistencia media a la tracción que oscila entre 1,3 y 8,48 MPa (26). Los hallazgos del presente estudio demuestran una coincidencia con la literatura existente.

Conclusiones

El método inicial produjo quitina con aglomeraciones, mientras que el método con ácido acético al 2% produjo una sola fibra de quitina.

Los resultados de las pruebas de tracción del biopolímero se alinean con los requisitos propuestos en la literatura, con valores aproximados que oscilan entre 7,5 y 4,6 MPa. En aplicaciones prácticas, los materiales que exhiben un comportamiento análogo al representado en la Figura 7 son particularmente adecuados para estructuras que requieren una deformación plástica controlada antes de la fractura. Sin embargo, la variabilidad observada en la Figura 6 subraya el papel crucial de las estrictas medidas de control de calidad para garantizar la consistencia del material.

Los resultados de FTIR identifican los grupos funcionales de amidas I y II CO-NH, correspondientes a la quitina.

Declaración de contribución de autoría de CRediT

Conceptualización - Ideas: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Curación de datos: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Análisis formal: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Captación de financiación: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Investigación: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Metodología: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Dirección del proyecto: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Recursos: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Software: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca, Alejandra Lascano Moreta, María Paredes Robalino. Dirección: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Validación: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Visualización - Preparación: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Redacción - borrador original - Elaboración: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca. Redacción - revisión y edición - Preparación: Pablo Valle Velasco, Martha Sevilla Abarca.

Financing: Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Conflicto of interest: does not declare

Aspecto ético: no declara.

References

- (1) W. Su, W. Xu, N. E. Polyakov, A. V Dushkin, P. Qiao, and W. Su, "Zero-waste utilization and conversion of shrimp shell by mechanochemical method," *J. Clean. Prod.*, vol. 425, no. September, p. 139028, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139028>
- (2) N. Rossi, C. Grossi, and C. Delerue-Matos, "Shrimp Waste Upcycling: Unveiling the Potential of Polysaccharides, Proteins, Carotenoids, and Fatty Acids with Emphasis on Extraction Techniques and Bioactive Properties," *Mar. Drugs*, vol. 22, no. 4, 2024, <https://doi.org/10.3390/md22040153>
- (3) D. Vadivel et al., "Innovative chitin-glucan based material obtained from mycelium of wood decay fungal strains," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e28709, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28709>

- (4) S. Kumari and P. K. Rath, "Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from (Labeo rohit) Fish Scales," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpc, pp. 482-489, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.062>
- (5) I. Younes and M. Rinaudo, "Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications," pp. 1133-1174, 2015, <https://doi.org/10.3390/md13031133>
- (6) M. Eddy, B. Tbib, and K. EL-Hami, "A comparison of chitosan properties after extraction from shrimp shells by diluted and concentrated acids," *Helijon*, vol. 6, no. 2, p. e03486, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03486>
- (7) C. Pedrazzani, L. Righi, F. Vescovi, L. Maistrello, and A. Caligiani, "Black soldier fly as a New chitin source: Extraction, purification and molecular/structural characterization," *Lwt*, vol. 191, no. July 2023, p. 115618, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115618>
- (8) N. H. K. Al Shaqsi, H. A. S. Al Hoqani, M. A. Hossain, and M. A. Al Sibani, "Optimization of the demineralization process for the extraction of chitin from Omani Portunidae segnis," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 23, no. July, p. 100779, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100779>
- (9) J. Kumirska et al., "Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan," *Mar. Drugs*, vol. 8, no. 5, pp. 1567-1636, 2010, <https://doi.org/10.3390/md8051567>
- (10) C. Chen et al., "Mechanically strong all-chitin filaments: Wet-spinning of α -chitin nanofibers in aqueous NaOH," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 222, no. PB, pp. 3243-3249, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.096>
- (11) E. Podgorbunkikh, T. Kuskov, V. Bukhtoyarov, O. Lomovsky, and A. Bychkov, "Recrystallization of Cellulose, Chitin and Starch in Their Individual and Native Forms," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 7, 2024, <https://doi.org/10.3390/polym16070980>
- (12) W. G. Birolli, J. A. D. M. Delezuk, and S. P. Campana-Filho, "Ultrasound-assisted conversion of alpha-chitin into chitosan," *Appl. Acoust.*, vol. 103, pp. 239-242, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.10.002>
- (13) T. Di Nardo and A. Moores, "Mechanochemical amorphization of chitin: Impact of apparatus material on performance and contamination," *Beilstein J. Org. Chem.*, vol. 15, pp. 1217-1225, 2019, <https://doi.org/10.3762/bjoc.15.119>
- (14) H. El Knidri, R. Belaabed, A. Addaou, A. Laajeb, and A. Lahsini, "Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 120, pp. 1181-1189, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.139>
- (15) H. C. Curbelo and D. Y. Palacio, "Tratamiento químico de residuos de camarón para la obtención de quitina," *Rev. Cent. Azucar*, vol. 48, no. 2, pp. 103-116, 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612021000200103&script=sci_arttext
- (16) R. J. Camargo-Amado, M. E. Sevilla-Abarca, R. J. Camargo-Amado, and M. E. Sevilla-Abarca, "Chemical functionalization method to obtain graphene oxide adhered to the surface of high-density pyrolytic graphite plates by acid spray coating," *Ing. y Compet.*, vol. 23, no. 2, p. e21110838, 2021, <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.10838>
- (17) B. Adegbemiro, S. Pathania, J. Wilson, B. Duffy, J. Maria, and C. Frias, "Extraction , quantification , characterization , and application in food packaging of chitin and chitosan from mushrooms : A review," vol. 237, no. March, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124195>
- (18) H. Ali Said Al Hoqani, N. Hamed Khalifa Al Shaqsi, M. Amzad Hossin, and M. Abdullah Al Sibani, "Structural characterization of polymeric chitosan and mineral from Omani shrimp shells," *Water-Energy Nexus*, vol. 4, pp. 199-207, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.11.002>

- (19) A. Khayrova, S. Lopatin, y V. Varlamov, "Obtaining chitin, chitosan and their melanin complexes from insects", *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 167, no xxxx, pp. 1319-1328, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086>
- (20) Y. Zou et al., "Biocompatible and biodegradable chitin-based hydrogels crosslinked by BDDE with excellent mechanical properties for effective prevention of postoperative peritoneal adhesion," *Carbohydr. Polym.*, vol. 305, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120543>
- (21) G. Yuan, Y. Pan, W. Li, C. Wang, and H. Chen, "Effect of extrusion on physicochemical properties, functional properties and antioxidant activities of shrimp shell wastes protein," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 136, pp. 1096-1105, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.145>
- (22) S. Batool, W. Guo, R. Gill, W. Xin, and Y. Hu, "Chitin based multi-layered coatings with flame retardancy an approach to mimic nacre: Synthesis, characterization and mechanical properties," *Carbohydr. Polym.*, vol. 291, no. May 2021, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119488>
- (23) E. Farina et al., "Micro computed tomography based finite element models for elastic and strength properties of 3D printed glass scaffolds," *Acta Mech. Sin. Xuebao*, vol. 37, no. 2, pp. 292-306, 2021, <https://doi.org/10.1007/s10409-021-01065-3>
- (24) S. Fooladi y S. R. Kiahosseini, "Creation and investigation of chitin/HA double-layer coatings on AZ91 magnesium alloy by dipping method", *J. Mater. Res.*, vol. 32, no 13, pp. 2532-2541, 2017. <https://doi.org/10.1557/jmr.2017.231>
- (25) M. D. C. D et al., "Chitin nanowhiskers from shrimp shell waste as green filler in acrylonitrile-butadiene rubber : Processing and performance properties," *Carbohydr. Polym.*, vol. 245, no. May, p. 116505, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116505>
- (26) L. Ilijin et al., "Sourcing chitin from exoskeleton of *Tenebrio molitor* fed with polystyrene or plastic kitchen wrap", *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 268, no March, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131731>
- (27) M. Ast, "D638, Standard test method for tensile properties of plastics," *TF_~ VFING HOOP TENSILE I'REN ...*, no. C, pp. 1-16, 2013, doi: 10.1520/D0638-10.1.
- (28) S. Islam, M. A. R. Bhuiyan, and M. N. Islam, "Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications in Biomedical Engineering," *J. Polym. Environ.*, vol. 25, no. 3, pp. 854-866, 2017, <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0865-5>
- (29) S. Peter, N. Lyczko, D. Gopakumar, H. J. Maria, A. Nzhou, and S. Thomas, "Chitin and Chitosan Based Composites for Energy and Environmental Applications: A Review," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 12, no. 9, pp. 4777-4804, 2021, <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01244-6>
- (30) M. Ul-Islam, K. F. Alabbosh, S. Manan, S. Khan, F. Ahmad, and M. W. Ullah, "Chitosan-based nanostructured biomaterials: Synthesis, properties, and biomedical applications," *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 79-99, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.07.002>
- (31) M. G. García, J. Marchese, and N. A. Ochoa, "Effect of the particle size and particle agglomeration on composite membrane performance," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 118, no. 4, pp. 2417-2424, 2010, <https://doi.org/10.1002/app.32274>
- (32) H. El Knidri, R. El Khalfaoui, A. Laajeb, A. Addaou, and A. Lahsini, "Eco-friendly extraction and characterization of chitin and chitosan from the shrimp shell waste via microwave irradiation," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 104, pp. 395-405, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.09.020>
- (33) D. Montroni, M. Di Giosia, M. Calvaresi, and G. Falini, "Supramolecular Binding with Lectins: A New Route for Non-Covalent Functionalization of Polysaccharide Matrices," *Molecules*, vol. 27, no. 17, 2022, <https://doi.org/10.3390/molecules27175633>

- (34) K. Mohan, A. Ramu, and T. Muralisankar, "Trends in Food Science & Technology Recent insights into the extraction , characterization , and bioactivities of chitin and chitosan from insects," Trends Food Sci. Technol., vol. 105, no. May, pp. 17-42, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.016>
- (35) M. B. de O. Silva, S. A. de Oliveira, y D. dos S. Rosa, "Comparative study on microwave-assisted and conventional chitosan production from shrimp shell: Process optimization, characterization, and environmental impacts", J. Clean. Prod., vol. 440, no January, p. 140726, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140726>
- (36) I. Younes, S. Hajji, V. Frachet, M. Rinaudo, K. Jellouli, y M. Nasri, "Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. Antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan", Int. J. Biol. Macromol., vol. 69, pp. 489-498, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.06.013>
- (37) R. S. C. M. D. Q. Antonino et al., "Preparation and characterization of chitosan obtained from shells of shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone," Mar. Drugs, vol. 15, no. 5, pp. 1-12, 2017, <https://doi.org/10.3390/md15050141>
- (38) Y. C. Cárdena-Pérez, R. Vera-Graziano, E. d. J. Muñoz-Prieto, and E. Y. Gómez-Pachón, "Obtención y caracterización de andamios electrohilados a base de quitosano y fibroína del capullo (*Bombyx mori*)," Ing. y Compet., vol. 19, no. 1, p. 134, 2017, <https://doi.org/10.25100/iyc.v19i1.2138>