

Obtaining chitosan paper from shrimp shells

Yedidia Villegas Peralta, Perla Alejandrina Gonzalez Tineo, Reyna Guadalupe Sánchez Duarte & Ana Alejandra Aguilar Ruiz

Instituto Tecnológico de Sonora. Depto. Ciencias del Agua y Medio Ambiente. 5 de febrero 818 Sur, Colonia Centro Ciudad Obregón Sonora, México.



How to cite this article: Y. Villegas Peralta, P. González Tineo, R. Sánchez Duarte, A. Aguilar Ruiz, "Obtención de papel de quitosano a partir de cáscara de camarón", *Ing-Nova*, vol. 3, no. 1, pp. 34-47, ene. 2024.
<https://doi.org/10.32997/rin-2024-4676>

Received 23 de agosto de 2023

Reviewed: 20 de octubre de 2023

Accepted: 17 de noviembre de 2023

Corresponding author:

Perla Alejandrina Gonzalez Tineo
perla.gonzalez@itson.edu.mx

Editor: Miguel Ángel Mueses. Universidad de Cartagena-Colombia.

Copyright: © 2024 Y. Villegas Peralta, P. González Tineo, R. Sánchez Duarte, A. Aguilar Ruiz. Este es una editorial de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> la cual permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre y cuando que el original, el autor y la fuente sean acreditados.



ABSTRACT

This research article presents the obtaining of chitosan and the production of paper from shrimp shell waste as an alternative raw material for the paper industry. Chitosan was obtained from the chemical method with variation in deacetylation time, temperature and concentration. Two chitosan papers were prepared: Chitosan 1 and Chitosan II, which were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), degree of deacetylation (GD), thickness, wettability (contact angle), humidity, and ash. The paper manufacturing process allowed to obtain two papers with similar characteristics in terms of humidity, handling and appearance, both chitosan papers were of good quality with DG of 66 and 68%. With this, it is concluded that shrimp shell residues are an alternative for the production of biodegradable polymers that allow replacing the raw material with which paper is made.

Keywords: Chitosan, Shrimp waste, Polymers, Deacetylation degree, Wastes.

Obtención de papel de quitosano a partir de cáscara de camarón

RESUMEN

Este artículo de investigación presenta la obtención de quitosano y la elaboración de papel a partir de residuos de cáscaras de camarón como alternativa de materia prima para la industria del papel. Se obtuvo quitosano a partir del método químico con variación en tiempo de desacetilación, temperatura y concentración de hidróxido de sodio. Se elaboraron dos papeles de quitosano: Quitosano 1 y Quitosano II, los cuales fueron caracterizados por espectroscopía de Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), grado de desacetilación (GD), espesor, humectabilidad (ángulo de contacto), humedad y cenizas. El proceso de elaboración de papel permitió obtener dos papeles con características similares en cuanto a humedad y apariencia, ambos papeles de quitosano resultaron de buena calidad con GD de 66 y 68%. Con esto se concluye que los residuos de cáscaras de camarón son una alternativa para la producción de polímeros biodegradables que permitan sustituir a la materia prima con la cual se elabora el papel.

Palabras clave: Quitosano, Cáscaras de camarón, Polímeros, Grado de desacetilación, Residuos.

1. Introducción

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO siglas en inglés), entre 2010 y 2015 hubo una pérdida forestal anual de 7,6 millones de hectáreas y una ganancia anual de 4,3 millones de hectáreas por año, lo que resultó en una disminución anual neta de la superficie forestal de 3,3 millones de hectáreas. La industria de la pulpa y el papel es una de las mayores contaminadoras del mundo, así como uno de los mayores usuarios de agua dulce (una hoja de papel consume hasta 20 L de agua) y energía (utiliza el 4 % de la energía mundial) [1, 2]. El consumo de papel en la actualidad como lo muestran las estadísticas es insostenible y está aumentando a nivel mundial [3], en el caso de México se estimó en 2018 una producción de 5,955,989 toneladas de papel usado para diversas aplicaciones: escritura e impresión, sanitario, para empaque y algunos especiales [4]. Aunque el papel tiene múltiples usos, el proceso de obtención es químicamente intensivo, utiliza sustancias químicas que son tóxicas y dañinas para el medio ambiente, las descargas de sus efluentes en las vías fluviales contaminan los ríos y dañan los ecosistemas, se bioacumulan los contaminantes y eventualmente ingresan a la cadena alimentaria lo que trae consigo una serie de alteraciones al medio que nos rodea.

De esta forma, la contaminación es un problema latente derivado del proceso de obtención de papel, es por ello que una de las alternativas para contrastar este problema es sustituir por polímeros biodegradables a la materia prima con la cual se fabrica el papel (celulosa), esto ayudaría en gran porcentaje a la disminución de la deforestación, la contaminación de mares, aire, entre otros, evitando también, la tala excesiva de árboles, los cuales son esenciales para la regeneración del ambiente.

Uno de los polímeros biodegradables como alternativa para la fabricación de papel, es el quitosano un polisacárido compuesto de dos subunidades D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, las cuales están conectadas por la unión (1-4) glicosídica [5] este compuesto se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina presente en los esqueletos de crustáceos y cangrejos, y es el segundo polímero natural más abundante en la naturaleza [6]. El quitosano posee propiedades biológicas como biocompatibilidad, biodegradabilidad y toxicidad baja o nula [7] esto lo hace aún más atractivo, ya que es obtenido a partir de los residuos de camarón.

Las características biológicas, estructurales y mecánicas de este compuesto son importantes para su aplicación práctica y su implementación como matriz de soporte para la preparación de nuevos materiales [8]. El quitosano se considera un material versátil con múltiples aplicaciones, que incluyen la formación de materiales biodegradables, recubrimientos, compuestos y nanocompuestos. Los derivados del quitosano se utilizan ampliamente como agentes floculantes para el tratamiento de aguas residuales [9], en la industria médica y ambiental, y en la fabricación de papel e industrias relacionadas [6, 10]. En este sentido, se han reportado estudios sobre el uso de quitosano como aditivo en la fabricación de papel, tanto para aplicaciones internas como superficiales [11] mejorando la resistencia de este material en condiciones húmedas [12]. Adicionalmente, se han observado propiedades antibacterianas inherentes al quitosano y su capacidad para formar películas [13], lo cual es una característica que resulta de interés para su uso en la conservación de alimentos.

Estudios realizados por Kardas [14] demostraron que el quitosano y derivados ofrecen una amplia gama de aplicaciones únicas en la industria alimentaria, como la conservación para evitar el deterioro microbiano, la prolongación de la vida útil, la formación de materiales biodegradables y el envasado de alimentos. Los

productos utilizados como material de envasado o recubrimiento que pueden formar fibras, biopelículas, geles, perlas o nanopartículas son en esta perspectiva una alternativa importante para la conservación de alimentos. Por otro lado, van den Broek [15] reporta el desarrollo de biopelículas y mezclas de quitosano como material de envasado.

Debido a sus actividades antimicrobianas y de formación de biopelículas antimicrobianas, el quitosano se ha considerado una alternativa adecuada como fuente de conservante alimentario o material de recubrimiento para sustituir los productos no biodegradables, o bien para sustituir polímeros no biodegradables y no renovables, también para reducir la aplicación extensiva de pesticidas nocivos en la protección de los alimentos. Investigaciones hechas por Lisuzzo, 2023 [16] demostraron que el quitosano junto con la nanocelulosa funcionalizada impulsan la formación de cargas híbridas adecuadas para la consolidación de papel para aplicaciones de envasado de alimentos. Chávez-Huerta 2012 [5] en su estudio obtuvo la obtención de papel de quitosano a partir de residuos de cangrejo como sustitución a la celulosa; Shahid ul, 2023 [17] obtuvieron una película de quitosano homogénea, transparente y compatible compuesta por polivinil alcohol y utilizando un método de fundición de solución simple. Existen estudios que investigan del uso de quitosano en la fabricación de papel, son muy pocos aquellos que estudian el papel de quitosano puro y sus diferencias en grados de desacetilación con posible aplicación en empaques alimenticios [18]. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo la exploración de dos principales técnicas para la elaboración y caracterización de papel biodegradable de quitosano el cual pudiera ser aplicado en la industria alimenticia como empaque de alimentos.

2. Metodología

2.1 Materiales y reactivos

Los reactivos utilizados para la obtención de hojuelas de quitosano son marca Fermont grado reactivo. Ácido clorhídrico (HCl) al 37.20% (v/v), hidróxido de sodio (NaOH) al 50% (w/v) sulfato de sodio (Na_2SO_4) al 99.5% (w/v) y ácido acético (CH_3COOH) al 5% (v/v).

2.2 Producción de quitosano

Previo a la preparación de los quitosanos, se procede a realizar el secado de las cáscaras de camarón, las cuales son expuestas al exterior a temperatura ambiente durante 3 h.

Quitosano I

Para la producción de Quitosano I se utilizó el método reportado por Sánchez et al., 2012 [19], el cual, consiste en 3 etapas: 1) desmineralización, 2) desproteínización y 3) desacetilación. 1) Se preparó una solución de HCl 1 M para el proceso de desmineralización y se mezcló con 60 g de cáscaras de camarón con un rango de tamaño de partícula de 75 a 150 micrómetros, medido por gravimetría, 2) Para la desproteínización, se calentaron las hojuelas a 65 °C en una solución con relación 1 a 20 de NaOH al 4.5% durante 4 h y con agitación magnética a 260 rpm. Una vez terminado el proceso, las cáscaras fueron lavadas con agua destilada con una relación 1 a 20, y se procedió a la desacetilación, 3) La desacetilación de la quitina se realizó con una solución acuosa de NaOH al 45% a una temperatura de 110°C por 2 h, a 180 rpm. Después, se lavó con agua y se filtró hasta llegar al pH del agua del lavado (pH=6). Ver Figura 1.



Figura 1. Obtención de Quitosano I.

Quitosano II

Para la obtención de Quitosano II se utilizó el método reportado por Chávez et al. (2012) [3] con modificaciones. El cual consiste en 3 etapas consecutivas: 1) desproteínización, 2) desmineralización y 3) desacetilación, respectivamente. 1) Para la desproteínización de las hojuelas de camarón se calienta el desecho (previamente secado) a 85 °C en una solución de NaOH al 4.5% (1:20) y Na₂SO₃ (1:5) al 45% durante 2 h, con agitación manual y una vez terminado este paso, se lava con agua destilada relación 1 a 20 hasta eliminar residuos y se repite este proceso hasta completar 4 h. 2) Para el proceso de desmineralización se preparó una solución de HCl al 1.5 M agitando por 3 h a 260 rpm a temperatura ambiente. Posteriormente, se lava con agua de la llave hasta eliminar residuos. Por último, para la desacetilación de la quitina 3) se realizó con una solución acuosa de NaOH al 4.5% (1:20) y Na₂SO₃ al 45% (1:5) a 85°C, agitando constantemente a 260 rpm por 6 h. Una vez terminado el proceso, se lavó con agua destilada y se filtró el producto hasta llegar al pH de 6. Ver Figura 2.



Figura 2. Obtención de Quitosano II

2.3 Elaboración de papel de quitosano

Para la elaboración del papel de quitosano se utilizó tanto el Quitosano I como el Quitosano II. Se pesaron 2 g en seco de cada uno de los quitosanos, seguidamente se colocaron 20 mL de agua en una licuadora y se agitó durante 15 min a 1000 rpm hasta conseguir una mezcla homogénea. El producto obtenido se filtró con un colador para retirar la mayor cantidad de agua posible. Este producto se montó en una prensa Arnold Grummer's, Papermaking set y se extendió hasta formar un círculo el cual fue prensado por 2 días para su completa adherencia (Ver Figura 3). Posteriormente, se calentó el producto en una plancha para eliminar humedad.



Figura 3. Esquema general de elaboración de papel.

2.4 Caracterización de quitosano y papel de quitosano

El papel de quitosano fue caracterizado por espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) para determinar grado de desacetilación y grupos funcionales, humedad, cenizas, espesor y ángulo de contacto. Para la obtención del espectro de infrarrojo se determinó con un equipo Omnic modelo kn5, el accesorio utilizado fue el iD1 para lo cual se preparó una pastilla de 0.3 g de KBr y 0.05 g de muestra para posteriormente, ser leída a una longitud de onda de 400 a 4000 cm^{-1} . Mientras que el método de humedad y cenizas se llevó a cabo utilizando los métodos descritos por Kane and Latimer [20].

La medición de la humectabilidad se llevó a cabo en un equipo de ángulo de contacto OCA 15EC marca Dataphysics instruments GmbH, equipado con una cámara de alta resolución. Se cortó una muestra de cada papel de quitosano en forma rectangular con medidas de 3 x 5 cm para posteriormente colocarlas en la base del equipo; el dispensador se colocó encima de la base con la muestra en ella y se procedió a depositar 2 gotas de agua con un volumen correspondiente a 6 μL cada una. Se procedió a medir el ángulo entre la gota y la tangente de la superficie de líquido cada 10 s durante 5 min. Finalmente, se procedió a procesar la imagen del resultado con el Software SCA20_U.

En el caso de la medición del espesor se utilizó un medidor de línea Mitutoyo 7326S. El grado de desacetilación de cada muestra se determinó utilizando los valores de absorbancia obtenidos con los espectros de infrarrojo arrojados por el equipo de FTIR OMNIC modelo kn5. Para el cálculo, se utilizaron los datos de absorbancia de las muestras que corresponden a los grupos funcionales de amina III (1320 cm^{-1}) y CH_2 (1420 cm^{-1}) según el método de Brugnerotto, Lizardi, Goycoolea, Argüelles-Monal, Desbrières and Rinaudo [21] y la ecuación 1 en donde: DD es el grado de desacetilación el cual está expresado en %, A_{1320} y A_{1420} es el valor de la absorbancia a la longitud de onda de 1320 cm^{-1} referida como amida I y a 1420 cm^{-1} como amida II respectivamente.

$$DD = \left[\frac{-A_{1320} - 0.03822}{-A_{1420} - 0.0313} \right] + 100$$

Ecuación 1

3. Resultados y discusión

3.1 Aspecto físico del quitosano

En la Figura 3, el lote de Quitosano I tiene una apariencia amarillenta con color tornasol y presenta una textura rígida, por otro lado, el lote de Quitosano II tiene una apariencia blanquiza con una textura más suave. Se comprobó la disolución del lote de quitosano I en medio ácido como lo menciona Sánchez-Duarte et al., (2012) [4] y resultó satisfactorio, ya que el quitosano si logró disolverse. Por otra parte, el lote de Quitosano II el cual fue basado en la metodología de Chávez et al., (2012) [1], se hinchó y no se disolvió en medio ácido lo que hace que este último quitosano se destaque del quitosano I. El papel de Quitosano II presentó un mejor manejo al momento de desmontarse de la prensa y su consistencia fue más compacta comparada con la del papel de Quitosano I. La solubilidad del quitosano en soluciones acuosas ácidas depende de muchos factores, como la distribución del peso molecular (PM), el grado de acetilación (DA), el pH y la temperatura [22]. Es importante mencionar que en el método de producción de Quitosano II, se agregó sulfito de sodio (Na_2SO_3) quien según Chávez-Huerta [5] evita la rupturas de las cadenas poliméricas de la quitina, perdiendo algunas propiedades físicas esenciales para la obtención de las películas de quitosano.



Figura 3. Aspecto físico de a) quitosano I y b) quitosano II.

3.2 Caracterización grupos funcionales (FTIR)

3.2.1 Grupos funcionales

En la Figura 4, se muestra el espectro de infrarrojo de Quitosano I y II, ya que ambos espectros resultaron ser parecidos en su totalidad, se presenta un solo espectro. Según lo reportado por Kong, 2012 [23], las bandas presentes entre 3800 y 3500 cm^{-1} revelan el estiramiento O-H, teniéndose incluso en la misma región el estiramiento N-H, y como se puede apreciar nos muestra una banda en 3565.13 cm^{-1} demostrando la presencia de estos grupos. Los estiramientos O-H se presentan debido a la captación de moléculas de agua y la presencia de OH- de las estructuras del quitosano. De acuerdo con lo reportado por Liu et al., (2012) [24], la banda localizada a 2957.78 cm^{-1} hace referencia a los grupos COCH_3 y al estiramiento simétrico y asimétrico de los enlaces C-H. La banda de estiramiento de 1662.59 representa el grupo amida I, presentándose como un pico de baja intensidad, haciendo referencia al reporte de Dimzon, Ebert, & Knepper, 2013[25] en donde reporta las bandas de absorbancia de la amida I y II a 1630 cm^{-1} y 1660 cm^{-1} . El valor de 1319.15 cm^{-1} indica la presencia de los grupos OH, $-\text{NH}_2$ y $-\text{CO}$, siendo esta banda de suma importancia, ya que se consideran como referencia para definir el grado de desacetilación, así como la banda de 1420 cm^{-1} .

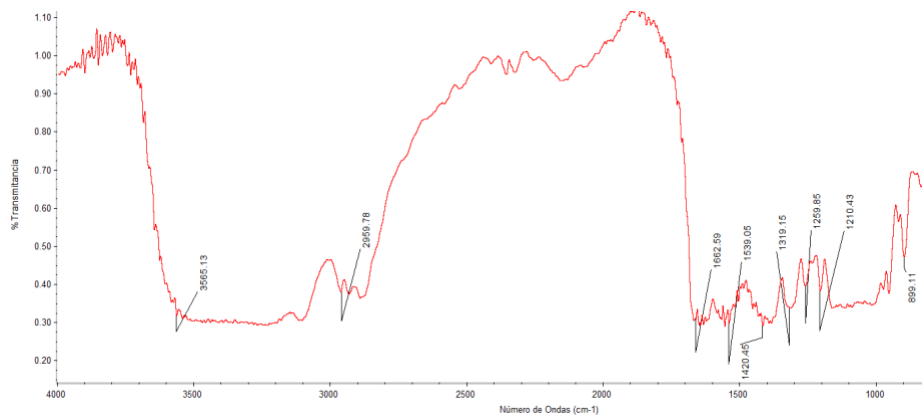


Figura 4. Espectro de infrarrojo de Quitosano I y II.

En la Figura 5 se muestra una relación entre el espectro de infrarrojo del papel de Quitosano I y el papel de Quitosano II para así lograr ver las diferencias en cuanto a los grupos funcionales presentes en las muestras una vez pasada por el proceso de elaboración de papel.

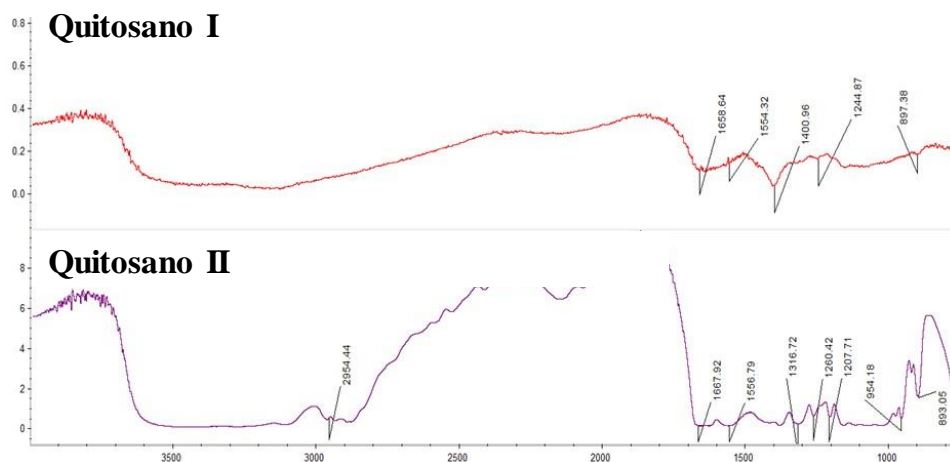


Figura 5. Espectros de infrarrojo de papel de Quitosano I y II.

En ambas muestras no se alcanza a distinguir el estiramiento O-H,s por lo tanto, en los espectros no se detecta la presencia de agua en las muestras. El espectro del papel de Quitosano II, a diferencia del espectro del papel de Quitosano I, se muestra una banda en el número de onda 2954.44 cm^{-1} , siendo probablemente un grupo COCH_3 o un estiramiento simétrico y asimétrico de los enlaces C-H, según lo reportado por Liu et al., 2012 [24], así como también un estiramiento en la banda 1316.72 cm^{-1} dando como referencia al grupo C-N, siendo similar a las bandas características de varios autores Lin & Lin 2009 [26]; Sun & Wang, 2006 [27]. Por otro lado, el espectro de papel de Quitosano 1 y papel de Quitosano II, muestran una banda de estiramiento en 1658.64 cm^{-1} y 1667.92 cm^{-1} , respectivamente. Estas bandas representan el grupo C=O del estiramiento de NH-C=O.

Los grupos funcionales presentes en el quitosano como lo son el hidroxilo, acetamido y amina son responsables de características físicas como el perfil de solubilidad, cristalinidad, densidad, forma y

distribución del tamaño de partícula. En la figura 4 Quitosano I y II no varían significativamente por lo que la forma y tamaño de las bandas son similares y de igual forma sus propiedades físicas. Adicionalmente, existen estudios como el reportado por Mourya y Nazma (2008) [28] donde se estudió la modificación de quitosano con alquilación y acilación. Sin embargo, las propiedades fisicoquímicas del compuesto y el esqueleto fundamental del quitosano se mantuvieron por lo que el espectro infrarrojo se muestra igual.

3.2.2 Humedad

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 1, se observa que tanto las hojuelas de quitosano I y papel de Quitosano I tienden a absorber más humedad que las hojuelas de Quitosano II. Por lo tanto, se concluye que el proceso de producción tuvo bastante relevancia entre ambos.

Tabla 1. Determinación de humedad en los distintos lotes de quitosano.

Humedad	
Muestras	Humedad promedio (%)
Lote de Quitosano I	13,63
Lote de Quitosano II	5,440
Papel de Quitosano I	16,13
Papel de Quitosano II	8,620

De acuerdo con lo reportado por Gocho et al. (2000) [29], mencionan que el quitosano es de naturaleza hidrocópica y que tiene una mayor capacidad para formar enlaces de hidrógeno (formados con grupos hidroxilo y amino) con agua en comparación con la quitina. La cantidad de agua que sea absorbida por las muestras va a depender de varios factores como: el contenido de humedad inicial, las condiciones de almacenamiento, la temperatura ambiental y la humedad relativa. Estudios como el de Rege et al., 1999 [30], encontraron que el nivel de humedad del polvo de quitosano variaba del 7% al 11% (p/p) y era independiente del GD y peso molecular del polímero. Sin embargo, Mucha et al., 2005 [31] notaron que la capacidad de absorción de agua de las películas de quitosano disminuyó al aumentar su GD. La presencia de agua absorbida juega un papel considerable, especialmente en las formulaciones sólidas a base de quitosano, y afecta las propiedades de flujo y la compresibilidad de la resistencia a la tracción de los polvos o tabletas. Se informó que un contenido de humedad de hasta el 6% (p/p) mejora la unión de las partículas durante la compresión como resultado de la formación de enlaces de hidrógeno entre las partículas [32].

Por lo tanto, el Quitosano II y su respectivo papel, tuvieron mejores propiedades que el I en cuanto a la unión de las partículas, ya que el objetivo como papel es formar una hoja sólida con la menor humedad. Por otro lado, los resultados de humedad en relación con el GD presentan relación como lo dice Mucha et al., 2005 [31] ya que, el lote de Quitosano I obtuvo un menor GD (66.07%), que el lote de quitosano II (68.98%), por lo tanto, la humedad del lote de quitosano I obtuvo 13.63% y el lote de quitosano II obtuvo humedad de 5.44%, siendo más del doble la diferencia. En cuanto al papel de quitosano, se difiere lo anterior ya que, al momento de someterse a presión y calor, puede modificarse su estructura, siendo esta la causa por la cual el GD no tuvo relación con la humedad como se mencionaba anteriormente.

3.2.3 Cenizas

Los reportes de Takarina et al. 2017 [33] muestran que a mayor temperatura combinada con el extenso tiempo de ebullición se aumentará el contenido de cenizas y se reducirá la calidad de quitosano. En este sentido los resultados obtenidos (Tabla 2) concuerdan con la literatura ya que, en el proceso de producción

del lote de Quitosano I, del cual partió el papel, se usó una temperatura de 110 °C y en el proceso de quitosano II a una temperatura de 85 °C, resultando una diferencia muy significativa en el porcentaje de ceniza obtenido. Por lo que se concluye al observar los resultados que, el lote de Quitosano II, junto con su papel, tienen menor porcentaje de cenizas otorgándole una mejor calidad.

El contenido de cenizas es un indicador de la efectividad del proceso de desmineralización debido a la eliminación de los minerales presentes conformado entre el 30–55% constituido principalmente por carbonato de calcio (CaCO₃) y fosfato de calcio, (CaPO₄)₂, en menor proporción, un valor alto de cenizas puede afectar la solubilidad, e influir en la viscosidad de los quitosanos y por ende en los pesos moleculares.

Tabla 2. Determinación de cenizas en muestras de quitosano.

Cenizas	
Muestra	Porcentaje de cenizas promedio (%)
Lote de quitosano I	0,23
Lote de quitosano II	0,11
Papel de quitosano I	0,46
Papel de quitosano II	0,19

3.2.4 Espesor

En la tabla 3 mostrada a continuación se observan los resultados promedio de espesor de las muestras:

Tabla 3. Resultados promedio de espesor en muestras de quitosano.

Espesor	
Muestras	Espesor promedio (mm)
Lote de Quitosano I	0,7320
Lote de Quitosano II	0,6680
Papel de Quitosano I	1,1190
Papel de Quitosano II	0,7831

Por lo tanto, se concluye que las hojuelas de quitosano II son más delgadas que las muestras de quitosano I. Por lo que tiende a ser un poco más flexible lo cual es una característica esencial para el resultado esperado el cual consiste en ser lo más parecido a una hoja de papel kraft. La razón por la cual los espesores varían, depende de la presión que se use en la prensa, el tiempo de duración en la ruptura de las hojuelas, así como también, el tiempo en el proceso de compactación.

3.2.5 Grado de desacetilación

El proceso de desacetilación involucra la exclusión del grupo acetilo de la cadena molecular de la quitina, quedando en su lugar un grupo amino (-NH₂). Las diferentes cualidades que presenta el quitosano dependen principalmente de este alto grado de grupos amino. El grado de desacetilación y la cristalinidad del quitosano influyen en su solubilidad en ácidos [34]. Se observó cómo los grados de desacetilación varían entre 66-70% y se deduce que el papel de Quitosano I obtuvo un mayor grado de desacetilación, ya que en el proceso de producción de éste se utilizó una concentración de NaOH al 45%. Por otro lado, el papel de Quitosano II obtuvo menor porcentaje de GD ya que se usó una concentración de NaOH al 4.5%. De acuerdo con lo reportado por Takarina et al. 2017 [33], el grado de desacetilación está relacionado con la concentración de NaOH que se utiliza en la producción de los lotes. Carrera, 2023 [35], menciona en su estudio que un aumento

de la concentración de quitosano en solución y un aumento del peso molecular (y, por tanto, una disminución del grado de desacetilación) favorecen la formación de agregados, mejorando propiedades de adsorción y elasticidad debido al carácter hidrofóbico que facilita las interacciones entre los agregados que se deseen adsorber. Así también Zhuang, 2019 [36] y Carrasco-Sandoval, 2023 [37] revelan que un quitosano con alto grado de desacetilación (88-95%) presenta mejores propiedades de barrera contra el agua y resistencia mecánica.

Tabla 4. Resultados promedio de grado de desacetilación (GD) en muestras de quitosano.

Grado de desacetilación	
Muestras	Grado de desacetilación (%)
Lote de Quitosano I	66,07%
Lote de Quitosano II	68,98%
Papel de Quitosano I	70,40%
	66,67%

3.2.6 Ángulo de contacto

Esta prueba fue útil para definir la humectabilidad del papel de quitosano. Las propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas de los materiales se miden a través del ángulo de contacto con el agua. Cuando el ángulo es mayor a 90°, ese material se considera hidrofóbico [38, 39]. Como se observa en la Figura 6, los papeles analizados son bastante hidrofílicos ya que la gota que se deja caer sobre la muestra la gota se absorbió inmediatamente impidiendo el registro del ángulo de contacto, lo que nos indica que el carácter de ambos papeles es hidrofílico. Sin embargo, se ha reportado con anterioridad que un ángulo de contacto no puede ser medido correctamente si el material contiene una red poco uniforme y con grandes poros [40], caso que sucedió en esta investigación por la consistencia de los papeles en estudio.

El papel de manera general es un excelente medio alternativo que tiene un amplio espectro de usos, que incluyen impresión, escritura, embalaje, dispositivos de microfluidos y productos para el hogar [41]. El papel es una materia prima ligera, biodegradable, mecánicamente estable y ecológica [42] que puede ser considerada de buena calidad. Existen otros parámetros tales como la composición de la materia prima, apariencia, claridad, espesor, tamaño y resistencia [43] que deben ser considerados para un papel de buena calidad.



Figura 6. Medición del ángulo de contacto de Quitosano I y Quitosano II.

4. Conclusiones

La quitina, el quitosano y sus derivados tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria papelera y alimenticia. Se emplea para resolver numerosos problemas relacionados con la conservación de alimentos en situaciones de humedad y para preparar materiales de envasado antibacterianos, de alta barrera e inteligentes. Aunado a la naturaleza biodegradable del quitosano, los resultados en este trabajo muestran que el Quitosano I alcanzó un grado de desacetilación del 66.07%, mientras que el quitosano II obtuvo 68.98%, indicando que la quitina logró desacetilarse, con ello se obtiene papel de quitosano puro de buena calidad; en ambos casos la concentración de NaOH en el proceso de desacetilación juega un papel importante. El quitosano puede ser un candidato interesante y prometedor para la fabricación de productos ecológicos como el papel con un alto valor añadido, ya que éste es obtenido a partir de residuos como las cáscaras de camarón, sin embargo, es necesario profundizar en la investigación en cuanto el proceso de prensado y manejo del papel de quitosano para su posible uso a nivel industrial para empaques de alimentos.

Referencias

- [1] R. Toczyłowska-Mamińska, "Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017, vol. 78, pp.764-772.
- [2] FAO, Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020, in: Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO, <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/es>, 2020.
- [3] A.K. Singh, Kumar, A., Chandra, R., "Environmental pollutants of paper industry wastewater and their toxic effects on human health and ecosystem". *Bioresource Technology Reports* 2022, vol. 20, pp.101250.
- [4] SEMARNAT, "Compendio de estadísticas ambientales 2020. Producción de papel". 2023, vol. no.10 agosto 2023, pp.
- [5] A. Chávez Huerta, Rincóna, M.C., Valbuena, A.C., López, A., "Obtención y caracterización de papel de quitosano". *Revista Iberoamericana de polímeros* 2012, vol. 13, no.2, pp.41-51.
- [6] Z. Song, Li, G., Guan, F., Liu, W., "Application of Chitin/Chitosan and Their Derivatives in the Papermaking Industry". *Polymers* 2018, vol. 10, no.4, pp.389.
- [7] P. Baldrick, "The safety of chitosan as a pharmaceutical excipient". *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 2010, vol. 56, no.3, pp.290-299.
- [8] K. Azuma, Izumi, R., Osaki, T., Ifuku, S., Morimoto, M., Saimoto, H., Minami, S., Okamoto, Y., "Chitin, Chitosan, and Its Derivatives for Wound Healing: Old and New Materials". *Journal of Functional Biomaterials* 2015, vol. 6, no.1, pp.104-142.
- [9] M.L. Verma, Kumar, S., Das, A., Randhawa, J.S., Chamundeeswari, M., "Chitin and chitosan-based support materials for enzyme immobilization and biotechnological applications". *Environmental Chemistry Letters* 2020, vol. 18, no.2, pp.315-323.

- [10] A. Wan, Xu, Q., Sun, Y., Li, H., "Antioxidant Activity of High Molecular Weight Chitosan and N,O-Quaternized Chitosans". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2013, vol. 61, no.28, pp.6921-6928.
- [11] J. Atkinson, Mondala, A. , Senger, Y. ., Al-Mubarak, R. , Young, B., Pekarovic, J., & Joyce, M., "Chitosan as a paperboard coating additive for use in HVAC (heating, ventilation and air conditioning) applications. ". *Cellulose chemistry and technology* 2017, vol. 51, no.5-6, pp. 477-481.
- [12] M.H. S. Habibie, M. Anggaravidya and E. Kalembang. , "The effect of chitosan on physical and mechanical properties of paper. ". *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* 2016, vol. 7, no.1, pp.1-10.
- [13] H. Kjellgren, Gällstedt, M., Engström, G., Järnström, L., "Barrier and surface properties of chitosan-coated greaseproof paper". *Carbohydrate Polymers* 2006, vol. 65, no.4, pp.453-460.
- [14] I. Kardas, Struszczyk, M. H., Kucharska, M., van den Broek, L. A., van Dam, J. E., & Ciechańska, D. , Chitin and chitosan as functional biopolymers for industrial applications, in: Springer (Ed.) *The European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE) Research Initiatives and Results*, Vienna, 2012, pp. 329-373.
- [15] L.A.M. van den Broek, Knoop, R.J.I., Kappen, F.H.J., Boeriu, C.G., "Chitosan films and blends for packaging material". *Carbohydrate Polymers* 2015, vol. 116, pp.237-242.
- [16] L. Lisuzzo, Cavallaro, G., Lazzara, G., Milioto, S., "Supramolecular systems based on chitosan and chemically functionalized nanocelluloses as protective and reinforcing fillers of paper structure". *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 2023, vol. 6, pp.100380.
- [17] I. Shahid ul, Jaiswal, V., Butola, B.S., Majumdar, A., "Production of PVA-chitosan films using green synthesized ZnO NPs enriched with dragon fruit extract envisaging food packaging applications". *International Journal of Biological Macromolecules* 2023, vol. 252, pp.126457.
- [18] N. Morin-Crini, Lichtfouse, E., Torri, G., Crini, G., "Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry". *Environmental Chemistry Letters* 2019, vol. 17, no.4, pp.1667-1692.
- [19] R.G. Sánchez-Duarte, Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., Correa-Murrieta, M.A., "Adsorption of allura red dye by cross-linked chitosan from shrimp waste". *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 2012, vol. 65, no.4, pp.618-623.
- [20] P.F. Kane, Latimer, G.W., Jr., *Gravimetric Elemental Analyses*, in: Publications A. (Ed.) *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, online, 2023.
- [21] J. Brugnerotto, Lizardi, J., Goycoolea, F.M., Argüelles-Monal, W., Desbrières, J., Rinaudo, M., "An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization". *Polymer* 2001, vol. 42, no.8, pp.3569-3580.
- [22] C. Pardo-Castaño, Bolaños, G., "Solubility of chitosan in aqueous acetic acid and pressurized carbon dioxide-water: Experimental equilibrium and solubilization kinetics". *The Journal of Supercritical Fluids* 2019, vol. 151, pp.63-74.

- [23] X. Kong, "Simultaneous determination of degree of deacetylation, degree of substitution and distribution fraction of $-\text{COONa}$ in carboxymethyl chitosan by potentiometric titration". *Carbohydrate Polymers* 2012, vol. 88, no.1, pp.336-341.
- [24] Z. Liu, Ge, X., Lu, Y., Dong, S., Zhao, Y., Zeng, M., "Effects of chitosan molecular weight and degree of deacetylation on the properties of gelatine-based films". *Food Hydrocolloids* 2012, vol. 26, no.1, pp.311-317.
- [25] I.K.D. Dimzon, Ebert, J., Knepper, T.P., "The interaction of chitosan and olive oil: Effects of degree of deacetylation and degree of polymerization". *Carbohydrate Polymers* 2013, vol. 92, no.1, pp.564-570.
- [26] C.-C. Lin, Lin, C.-W., "Preparation of N,O-carboxymethyl chitosan nanoparticles as an insulin carrier". *Drug Delivery* 2009, vol. 16, no.8, pp.458-464.
- [27] S. Sun, Wang, A., "Adsorption kinetics of Cu(II) ions using N,O-carboxymethyl-chitosan". *Journal of Hazardous Materials* 2006, vol. 131, no.1, pp.103-111.
- [28] V.K. Mourya, Inamdar, N.N., "Chitosan-modifications and applications: Opportunities galore". *Reactive and Functional Polymers* 2008, vol. 68, no.6, pp.1013-1051.
- [29] H. Gocho, Shimizu, H., Tanioka, A., Chou, T.J., Nakajima, T., "Effect of polymer chain end on sorption isotherm of water by chitosan". *Carbohydrate Polymers* 2000, vol. 41, no.1, pp.87-90.
- [30] P.R. Rege, Shukla, D.J., Block, L.H., "Chitinosans as tableting excipients for modified release delivery systems". *International Journal of Pharmaceutics* 1999, vol. 181, no.1, pp.49-60.
- [31] M. Mucha, Ludwiczak, S., Kawinska, M., "Kinetics of water sorption by chitosan and its blends with poly(vinyl alcohol)". *Carbohydrate Polymers* 2005, vol. 62, no.1, pp.42-49.
- [32] J.S.M. Garr, Rubinstein, M.H., "The influence of moisture content on the consolidation and compaction properties of paracetamol". *International Journal of Pharmaceutics* 1992, vol. 81, no.2, pp.187-192.
- [33] N.D. Takarina, Indah, A.B., Nasrul, A.A., Nurmarina, A., Saefumillah, A., Fanani, A.A., Loka, K.D.P., "Optimisation of Deacetylation Process for Chitosan Production from Red Snapper (*Lutjanus sp.*) Scale Wastes". *Journal of Physics: Conference Series* 2017, vol. 812, no.1, pp.012110.
- [34] J. Weißpflog, Vehlow, D., Müller, M., Kohn, B., Scheler, U., Boye, S., Schwarz, S., "Characterization of chitosan with different degree of deacetylation and equal viscosity in dissolved and solid state – Insights by various complimentary methods". *International Journal of Biological Macromolecules* 2021, vol. 171, pp.242-261.
- [35] C. Carrera, Bengoechea, C., Carrillo, F., Calero, N., "Effect of deacetylation degree and molecular weight on surface properties of chitosan obtained from biowastes". *Food Hydrocolloids* 2023, vol. 137, pp.108383.
- [36] C. Zhuang, Zhong, Y., Zhao, Y., "Effect of deacetylation degree on properties of Chitosan films using electrostatic spraying technique". *Food Control* 2019, vol. 97, pp.25-31.

- [37] J. Carrasco-Sandoval, Aranda, M., Henríquez-Aedo, K., Fernández, M., López-Rubio, A., Fabra, M.J., "Impact of molecular weight and deacetylation degree of chitosan on the bioaccessibility of quercetin encapsulated in alginate/chitosan-coated zein nanoparticles". *International Journal of Biological Macromolecules* 2023, vol. 242, pp.124876.
- [38] S. Tanpichai, Srimarut, Y., Woraprayote, W., Malila, Y., "Chitosan coating for the preparation of multilayer coated paper for food-contact packaging: Wettability, mechanical properties, and overall migration". *International Journal of Biological Macromolecules* 2022, vol. 213, pp.534-545.
- [39] L. Vikele, Laka, M., Sable, I., Rozenberga, L., Grinfelds, U., Zoldners, J., Passas, R., Mauret, E., "Effect of chitosan on properties of paper for packaging". *Cellul. Chem. Technol* 2017, vol. 51, no.1-2, pp.67-73.
- [40] S. Tanpichai, Witayakran, S., Wootthikanokkhan, J., Srimarut, Y., Woraprayote, W., Malila, Y., "Mechanical and antibacterial properties of the chitosan coated cellulose paper for packaging applications: Effects of molecular weight types and concentrations of chitosan". *International Journal of Biological Macromolecules* 2020, vol. 155, pp.1510-1519.
- [41] A.F. Abdallah, Jawaid, M., Mohamed, A.Z., Tahir, P.M., Abdullah, U.H., "Performance of nanofibrillated cellulose with chitosan as a wet-end additive for paper applications". *Industrial Crops and Products* 2023, vol. 203, pp.117219.
- [42] S. Basu, Malik, S., Joshi, G., Gupta, P.K., Rana, V., "Utilization of bio-polymeric additives for a sustainable production strategy in pulp and paper manufacturing: A comprehensive review". *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 2021, vol. 2, pp.100050.
- [43] D. Papel, Parámetros de calidad en el papel, in, 2023.