



Revalorización de subproductos de crustáceos, aplicaciones químicas y de paqueterías de cómputo académico. Parte 3. Ejemplo de proyectos de mejoramiento e innovación educativos: Obtención de quitina-quitosana

Revaluation of crustacean by-products, chemical applications, and academic computing packages. Part 3. Example of Educational Improvement and Innovation Projects: Obtaining chitin-chitosan

Beatriz Tlelo-Bárcena, Rolando Salvador García-Gómez, Marisela Bernal-González, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa, Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Química, FQ,
Departamento de Ingeniería Química, DIQ, Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química
Ambiental y de Química Ambiental, LIQAYQA,
Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México. Tel.
(+52-55) 5622-5300 al 04, Fax (+52-55) 5622-5300
Correo-e (*e-mail*): beatriztb.unam@gmail.com

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido / *Received*: Septiembre / *September* 15, 2023

Aceptado / *Accepted*: Octubre / *October* 14, 2023

Publicado / *Published*: Enero 01, 2024 (Número 1, enero-junio) / *January 01, 2024 (Number 1, January-June)*

Resumen

En esta investigación se continuó con la evaluación de los subproductos más abundantes de la industria pesquera y las granjas, los cefalotórax y exoesqueletos del camarón, donde el 20.7% de ellos se calcula como fibra cruda (que incluye al biopolímero quitina). Se separó este componente mediante operaciones unitarias desarrolladas en diferentes investigaciones a escala de laboratorio buscando darle valor agregado particularmente a la quitina que contiene. El objetivo principal de esta fase de la investigación fue hacer un análisis técnico-económico teórico de la quitina y su derivado desacetilado, la quitosana, que siempre vienen acompañados. Para ello se empleó el software Aspen Plus®, cuyas licencias fueron proporcionadas por el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM. Durante el procesamiento de los exoesqueletos y cefalotórax de camarón se obtuvo una producción de quitina en solución de 129.58 kg/h empleando el disolvente MAC-1:4:1©. Esto correspondería a una producción anual de alrededor de 380,000 kg de quitina partiendo de una base de cálculo de 500 kg h⁻¹ de subproductos que ingresaran durante 360 d por año. La inversión de capital total de los equipos calculada con el software Aspen Plus® es de \$10,895,540.00 USD (dólares estadounidenses). La quitina obtenida es útil para la elaboración de bioesponjas para la producción de recipientes biodegradables con una metodología más amigable con el ambiente.

Palabras clave: Fibra cruda, quitina-quitosana, desacetilación, recipientes biodegradables, metodologías amigables con el ambiente

Abstract

This research continued with the evaluation of the most abundant byproducts of the fishing industry, the cephalothoraxes and exoskeletons of shrimp, where 20.7% of them is calculated as crude fiber (which includes the biopolymer chitin). This component was separated through unit operations developed in different laboratory-scale investigations seeking to give added value particularly to the chitin it contains. The main objective of this phase of the research was to make a theoretical technical-economic analysis of chitin and its deacetylated derivative, chitosan, which are always accompanied. The Aspen Plus® software, whose licenses were provided by the Department of Chemical Engineering of the Faculty of Chemistry of the UNAM, was used. During the processing of the shrimp exoskeletons and cephalothorax, a production of 129.58 kg/h chitin in solution with the

MAC-1:4:1© solvent was obtained. The production considering a plant of 500 kg h⁻¹ of byproducts that enter during 360 d per year would be around 380,000 kg of chitin. The total capital investment of the equipment calculated with Aspen Plus® software is \$10,895,540.00 USD (US dollars). The chitin obtained is useful for the production of biosponges for the production of biodegradable containers with a more environmentally friendly methodology.

Keywords: *Crude fiber, chitin-chitosan, deacetylation, biodegradable containers, environmentally friendly methodologies*

Introducción

La quitina es considerada el segundo polímero estructural más abundante de la Tierra después de la celulosa, resultando adecuada para la elaboración de fibras, quitosana, esponjas, bioplásticos, cosméticos e hidrolizados proteicos empleados en la alimentación animal, entre otros (Borja-Urzola, 2017; Borja-Urzola et al., 2020a,b; Campos-Rodríguez y De-la-Cruz-Ochoa, 2021; Calderón-Villagómez et al., 1992; Czechowska-Buskup et al., 2012; De-la-Cruz-Guerra, 2019; Escobedo et al., 1999; Escobedo-Olea, 1994; Enríquez-Estrada y Nava Arévalo, 2016; García et al., 1999; García-Gómez et al., 2021; García-Luna-Pérez y Vargas-Cid, 2016; García-Montiel, 2016; González-Contreras, 2019; González-Piña y Pérez-Mendoza, 1994; Juárez-Cruz, 2019; Ortega-Granados, 2011; Sarabia-Bañuelos et al., 2015).

El proceso industrial para la obtención de quitina a partir de los subproductos más que residuos de crustáceos consiste de tres etapas básicas: Desmineralización para remover el carbonato de calcio y desproteínización-despigmentación para remover proteínas y pigmentos.

Existe una gran variedad de procedimientos químicos para estas separaciones y, a continuación, se mencionan los realizados por este grupo de investigación de la UNAM, que ha incursionado desde hace más de 30 años en esta temática (Arias-Torres y Mendoza-Márquez, 2010; Bárcenas-Ochoa, 2010; Borja-Urzola, 2021; Cañipa-Morales, 1994; Flores-Ortega, 2004, 2008; Ortega-Granados, 2014; Sarabia-Bañuelos, 2011; Tlelo-Bárcena, 2021).

Algo interesante observado es que la desacetilación parcial de la quitina ocurre durante su obtención a partir de los cefalotórax y exoesqueletos de los crustáceos, para lo que el grupo desarrolló dos patentes, una para un disolvente y condiciones de operación amigables con el ambiente que permitiera su separación de los subproductos de crustáceos (Flores-Ortega et al., 2004) y la otra para la formación de esponjas con características texturales similares al poliestireno espumado (Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014). Con estos avances, las propiedades estructurales de los productos obtenidos permiten mayores usos: Desde películas para recubrir frutos, cárnicos, pesquerías, etc., hasta para producir contenedores para alimentos frescos que se expenden en las tiendas de autoservicio.

La biodegradabilidad de estas películas y/o esponjas es de 14 días en composta, pero en condiciones normales de temperatura y humedad duran varios meses sin sufrir ningún daño (José-González, 2015; Juárez-Cruz, 2019; Salas-Osornio, 2011; Seseña-Alcalde, 2019; Tomás-Reyes, 2015; Velázquez-Solís, 2013; Villanueva-Jacobo, 2022; Zarazúa-Cruz, 2022).

La desmineralización generalmente se realiza con HCl en concentraciones que van de los 0.275-2 M; temperaturas entre 0-100°C y tiempos de 1-48 h. En el grupo se han usado otras propuestas más ecológicas (Hernández-Torres, 2014; Magdaleno-Hernández, 2015; Mejía-Galán, 2015).

La desproteínización se lleva a cabo comúnmente empleando NaOH 1 M de 65-100°C durante 1-72 h. Y, para la despigmentación se ha utilizado comúnmente etanol, acetona o peróxido de hidrógeno (Contreras-Esquivel et al., 2010; Guadarrama-Mendoza, 1997; Jiménez-Espinosa, 2003).

Es posible observar que el uso de ácidos y bases fuertes puede generar problemas en su manejo y modificaciones químicas en los productos por lo que en este trabajo se buscaron seguir los principios de la química verde (Manahan, 1998), empleando sustancias menos dañinas al ambiente y/o que puedan recuperarse con el objetivo de tener un ciclo de vida más prolongado. Por ello, en este grupo de investigación se han separado la quitina-quitosana de los complejos carotenoproteínicos en forma conjunta con objeto de aprovechar estos últimos para alimentos nutraceuticos (García-Gómez, 1997; Luna-Rodríguez, 2003; Mendoza-Pérez, 2014; Mendoza-Pérez et al., 2015; Moncada-Murillo, 2022; Ramírez-Cruz, 2003; Romero-Olmos, D. 2020; Tenorio-García, 2013; Torres-Aguirre, 2007; Vázquez-Marcial, J.S. 2015). En otras contribuciones se habla más sobre esta ecotecnología (Moncada-Murillo et al., 2024; Tlelo-Bárcena, 2021).

En la Figura 1 se muestran tres posibles substitutos a partir de quitina-quitosana. El primero de ellos son los productos del poliestireno expandido conocido como 'unicel' en México que pueden ser intercambiados por esponjas de quitina (Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014). El segundo producto que puede sustituir la quitina son las películas comestibles, como el recubrimiento de una fresa, que permite alargar su vida de anaquel y que representa un producto inocuo para quien consume dichas frutas u hortalizas (Ortega-Granados, 2011). El tercero se refiere a los materiales sólidos que sirven como filtros específicos en cromatografía (Campos-Rodríguez y De-la-Cruz-Ochoa, 2021) [figura modificada de Tlelo-Bárcena, 2021].

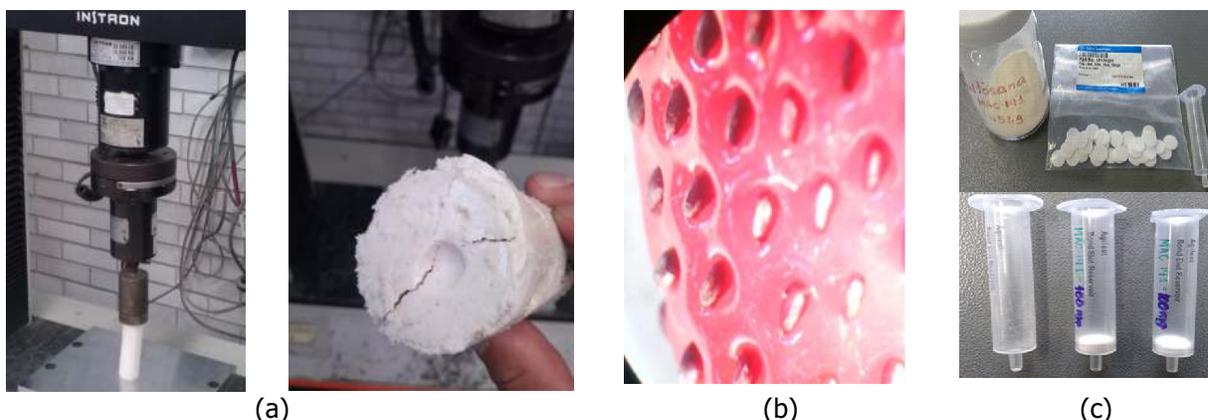


Figura 1. (a) Esponja de quitina a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón (Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014) (b) Recubrimiento de fresas con quitina-quitosana (Ortega-Granados, 2011) (c) Material utilizado en la extracción en fase sólida de contaminantes como metribuzina, prometrina y terbutilazina: Arriba la quitina-quitosana obtenida con el disolvente MeOH-H₂O-CaCl₂ y pequeños filtros comerciales y abajo los cartuchos de extracción con quitina-quitosana como adsorbente (Campos-Rodríguez y De-la-Cruz-Ochoa, 2021) [modificada de Tlelo-Bárcena, 2021]

De acuerdo con esta introducción, el objetivo de esta parte de la investigación fue el de tomar los datos experimentales a escala de laboratorio de los últimos 30 años para diseñar una planta prototipo empleando paqueterías de cómputo académico. Como un segundo objetivo se hizo con esta misma paquetería una evaluación de prefactibilidad económica.

Metodología

A continuación se presentan los experimentos realizados por la primera autora con base en el análisis de los datos experimentales a escala de laboratorio realizados desde los años 90 del siglo XX hasta 2019. Los resultados obtenidos sirvieron de base para el estudio teórico.

Disolución, caracterización y cuantificación de quitina-quitosana

Al material particulado, coloquialmente conocido como harina, obtenido del cefalotórax y el exoesqueleto parcialmente desproteinizados (CPD) se le separó la quitina-quitosana mediante el disolvente MAC-1:4:1©, siguiendo la metodología patentada por Flores-Ortega et al. (2004), la cual consistió en disolver 277.5 g de CaCl₂ con 180 mL de agua destilada en un balón de destilación de 500 mL y en un baño de hielo, ya que la reacción es exotérmica, adicionando posteriormente metanol y colocando a reflujo durante 8 h a una temperatura de 60°C. Una vez concluido el tiempo, se dejó sedimentar dos días conservándose la fase líquida. Se preparó el disolvente MAC-1:4:1, mezclándolo con el sólido desproteinizado en relaciones 1:2, 1:5, 1:7, 1:10, 1:20 m/v. Este material fue procesado para obtener películas y esponjas de quitina-quitosana, así como quitina-quitosana para usos especiales como la química analítica o la producción de contenedores desechables para alimentos ya mencionados en la introducción o para recubrir frutas u hortalizas, como la mostrada en la Figura 1b.

Procedimiento de purificación

Las muestras se colocaron en un desecador hermético saturado con vapor de agua durante 24 horas con el objetivo de separar la mayor cantidad de calcio y metanol excedente por el disolvente MAC-1:4:1 © y reutilizarlo en preparaciones subsecuentes. Pasado este tiempo, las muestras se sacaron del desecador y el sobrenadante se retiró con una pipeta Pasteur. El precipitado se secó a 95°C durante 18 horas en horno de convección (Felisa modelo FE-20091).

Grado de desacetilación

Esta determinación se realizó mediante el método de valoración potenciométrica (Czechowska-Buskup et al., 2012), cuya metodología consistió en disolver quitina-quitosana seca (0.2 g) en 20 mL de HCl 0.1M y 25 mL de agua destilada. Después de 30 min de agitación continua, se añadió la siguiente porción de agua destilada (25 mL) y se continuó agitando durante 30 min. Cuando la quitina-quitosana se disolvió por completo, la solución se valoró con una solución de NaOH 0.1M usando una bureta. De esta manera, se obtuvieron las curvas de pH *versus* mL de NaOH añadidos, los cuales presentan dos puntos de inflexión. La diferencia entre ellos corresponde a la cantidad de ácido requerido para protonar los grupos amino de la quitosana y con ello, es posible calcular el grado de desacetilación (*DD*, *deacetylation degree*, en inglés), empleando la expresión de la Ecuación 1:

$$\%DD = 2.03 \left(\frac{V_2 - V_1}{m + 0.0042(V_2 - V_1)} \right) \quad (1)$$

donde:

m = masa de la muestra

V_1, V_2 = volúmenes de 0.1 M de la solución de NaOH correspondientes a los puntos de inflexión calculados con la primera derivada

2.03 = coeficiente resultante de la masa molecular o molar de la unidad del monómero de quitina

0.0042 = coeficiente resultante de la diferencia entre la masa molecular o molar de las unidades del monómero de quitina y quitosana

Pruebas de solubilidad

Para la realización de esta prueba se colocaron 0.001g de muestra en viales de 5 mL y se agregaron 0.5 mL de diferentes disolventes: HCl concentrado, HCl al 1%, H₂SO₄ concentrado, H₂SO₄ al 1%, CH₂O₂ concentrado, CH₂O₂ al 1%, CH₃COOH concentrado, CH₃COOH al 1% y agua destilada. Posteriormente, se calentaron a 60°C durante 10 min comprobándose la solubilidad de la muestra en dichos disolventes.

Dimensionamiento del mejor proceso

De acuerdo con Tlelo-Bárcena (2021), con base en la experimentación realizada para la obtención de pigmentos carotenoides (astaxantina) y unificando el proceso a nivel de laboratorio, se formuló una propuesta a escala industrial para obtener las variables del proceso, el dimensionamiento del equipo y el desarrollo de una ingeniería conceptual con un estudio de prefactibilidad técnico-económica de ~35% calculando los costos totales con base en los equipos requeridos (Peters y Timmerhaus, 1991).

Para realizar lo anterior se emplearon los 'software' de los programas Aspen HYSYS® (ASPEN TECH, 2014; Aspen Technology Inc, 2017a) y Aspen Plus® (Aspen Technology Inc, 2017b).

Resultados y discusión

Caracterización de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón frescos y parcialmente desproteinizados

La caracterización de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón se realizó con la finalidad de comparar las pruebas de laboratorio de esta investigación con los valores obtenidos por Flores-Ortega (2008) y Flores-Ortega et al. (2004). En la Tabla 1 se presenta la comparación entre la composición de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón frescos *vs.* parcialmente desproteinizados en % de masa con datos bibliográficos y resultados experimentales. En ella se aprecia que las variaciones entre los datos bibliográficos y los resultados experimentales de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón fresco *vs.* parcialmente desproteinizados (CPD) fueron debidas al lote inicial manejado y a la mezcla de especie de camarón donado. En general, es posible comentar que, en cuanto al contenido de humedad en el cefalotórax y exoesqueleto frescos de camarón, se encontró en un mayor porcentaje, así como en el producto parcialmente desproteinado con un 77.53 y 74.73%, respectivamente; además, hubo una ligera pérdida de humedad al tamizar la pasta del CPD. En cuanto al porcentaje de caroteno-proteínas, medidas como nitrógeno proteico se muestra que éstas disminuyeron del 49.86% en el cefalotórax y exoesqueleto frescos, a 22.97% en el CPD debido a que, durante el licuado y el posterior tamizado de la pasta, hubo una eliminación de agua residual, la cual contiene esa disminución de proteínas solubles débilmente asociadas, permaneciendo las que estaban fuertemente enlazadas por los enlaces covalentes con la quitina (Mathur y Narang, 1990). Por otra parte, el contenido de cenizas o minerales, aumentaron en un 11.97% al obtener el CPD. Los valores de quitina en el cefalotórax y en el exoesqueleto frescos se encontraron dentro del rango reportado por Mathur y Narang (1990) de 15 al 20%, el cual fue de 17.63% y al obtenerse el CPD aumentó el contenido a 35.23%. Las partículas diluidas y lavadas se filtran de las partículas más grandes (en su mayoría quitinosas) a las partículas más pequeñas (en su mayoría no quitinosas) y del agua que contiene en su mayoría a las proteínas y el porcentaje lipídico (grasa) (de 4.13% pasó a 1.45% en el CPD, reduciéndose más de 2% en el contenido de grasas).

Tabla 1. Comparación de la composición del cefalotórax de camarón fresco y cefalotórax parcialmente desproteinado en % masa con datos bibliográficos y resultados experimentales

Determinación	Cefalotórax y exoesqueleto fresco de camarón		Cefalotórax y exoesqueleto parcialmente desproteinado (CPD)	
	Datos bibliográficos (Flores-Ortega, 2008)	Resultados experimentales*	Datos bibliográficos (Flores-Ortega, 2008)	Resultados experimentales*
Humedad	79.3±0.6	77.53±0.25	No presentada	74.73±2.31
% base seca				
Proteína**	43.76±3.3	49.86±7.05	24.10±0.6	22.97±1.15
Cenizas	31.38±1.4	28.38±0.75	42.45±1.4	40.35±1.41
Quitina	21.24±0.5	17.63±0.38	33.15±0.04	35.23±1.23
Grasa	3.62±0.3	4.13±0.43	0.30±0.03	1.45±0.14

* Promedio de tres determinaciones

** Factor de conversión = 5.4 (Cañipa-Morales, 1994; Cañipa-Morales et al., 1998; Cañipa-Morales y Durán-de-Bazúa, 1997)

Extracción de quitina y quitosana

La quitina-quitosana de la harina parcialmente desproteínizada que se extrajo con el disolvente MAC-1:4:1[©] en relaciones 1:2, 1:5, 1:7, 1:10 y 1:20 m/v se muestran en la Figura 2. En el método de purificación, las relaciones 1:2, 1:5 y 1:7 no mostraron un excedente de calcio y metanol significativo; en cambio, para las relaciones 1:10 y 1:20, fue necesario remover con la pipeta Pasteur el excedente, el cual puede volver a ser reutilizado.

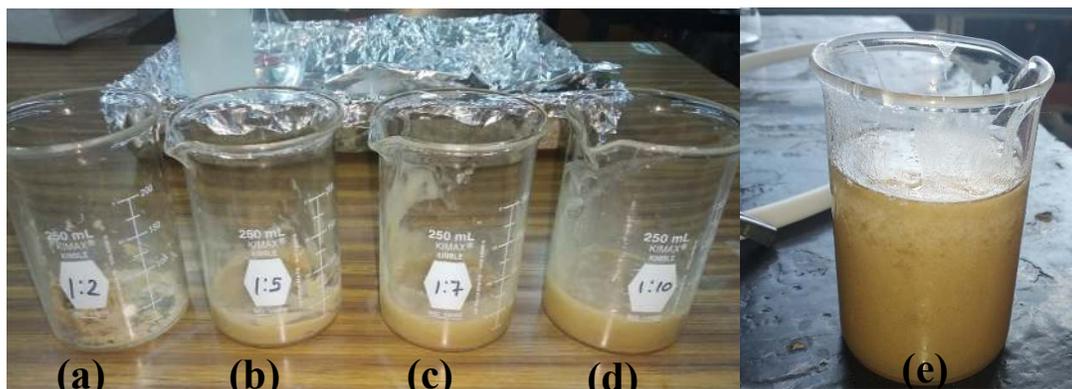
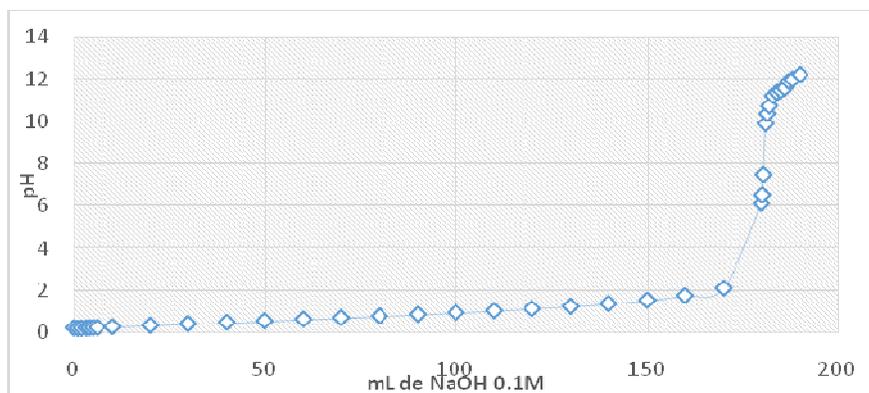


Figura 2. Quitina-quitosana extraída con el disolvente MAC-1:4:1, (a) relación 1:2, (b) relación 1:5, (c) relación 1:7, (d) relación 1:10 y (e) relación 1:20 m/v

Cálculo del grado de desacetilación

Se realizaron las curvas de titulación en función de los mL de NaOH 0.1M añadidos a las muestras de quitina y quitosana con HCl 0.1M, leyendo las variaciones del pH con un potenciómetro y en agitación constante. Los volúmenes V_1 y V_2 (mL de NaOH 0.1M gastados) correspondientes a los puntos de inflexión y calculados con la primera derivada, se muestran en la Tabla 2, así como el porcentaje de desacetilación (%DD) calculado con la Ecuación 1. Las gráficas individuales se encuentran en un Anexo de la tesis de maestría de Tlelo-Bárcena (2021)⁵. Para tener una referencia de los mL de NaOH 0.1M añadidos, se realizó una titulación sin muestra de quitina y quitosana como se muestra en la Gráfica 1.

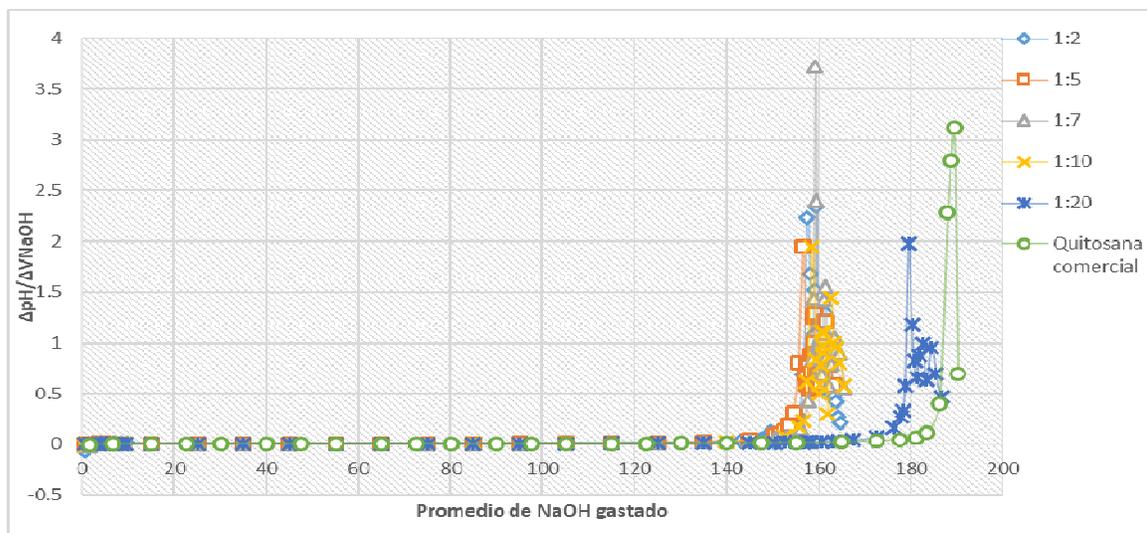


Gráfica 1. Titulación de HCl 0.1M con NaOH 0.1M sin muestra de quitina y quitosana

La Gráfica 2 muestra los valores de la primera derivada de las relaciones 1:2, 1:5, 1:7, 1:10, 1:20 m/v (harina:disolvente MAC-1:4:1) y quitosana comercial para el cálculo del grado de desacetilación mostrado en la Tabla 2. Las relaciones 1:2, 1:5, 1:7, 1:10 y 1:20 presentan porcentajes de desacetilación (%DD) de 5.02, 9.94, 13.80, 19.48 y 30.88, respectivamente, lo cual indica que en

⁵ Este anexo está disponible para las(os) lectoras(es) con el Comité Editorial

todos los casos se trata de quitina, ya que si se hubiera obtenido un rango de 50 al 95% se trataría de quitosana (Pillai et al., 2009), como se evidencia con la muestra de quitosana comercial con un %DD de 73.21, acercándose al valor de la etiqueta del proveedor ($\geq 75\%$). Las muestras analizadas por Flores-Ortega (2008) indican que obtuvo quitina y en solución formó una espuma con la que se produjo una esponja de quitina al eliminarse el disolvente. Es por ello, que al tomar como base su metodología, se obtuvo únicamente quitina, pero si se deseara obtener quitosana, se podría favorecer el grado de desacetilación utilizando ultrasonido y agitación, ya que se mejoraría la solubilidad del material particulado obtenido a partir de los exoesqueletos y cefalotórax de camarón en el disolvente (Borja-Urzola, 2021).



Gráfica 2. Primera derivada de las relaciones 1:2, 1:5, 1:7, 1:10, 1:20 y quitosana comercial

Tabla 2. Valores de los puntos de inflexión mayor y menor, V_2 y V_1 y su respectivo %DD para cada relación harina:disolvente MAC-1:4:1

Relación m/v (harina parcialmente desproteínizada con el disolvente MAC-1:4:1)	V_2 (punto de inflexión mayor)	V_1 (punto de inflexión menor)	%DD
Quitosana comercial	189.5	181	73.21
1:2	159.45	158.95	5.02
1:5	156.5	155.5	9.94
1:7	159.15	157.75	13.80
1:10	158.5	156.5	19.48
1:20	179.5	176.25	30.88

Solubilidad de las muestras sólidas en estudio

Las pruebas con HCl concentrado, HCl al 1%, H_2SO_4 concentrado, H_2SO_4 al 1%, CH_2O_2 concentrado, CH_2O_2 al 1%, CH_3COOH concentrado, CH_3COOH al 1% y agua destilada mostraron que el polímero natural obtenido fue mayoritariamente quitina. Los resultados del grado de desacetilación mostraron que, en todas las relaciones de harina:disolvente MAC-1:4:1®, se trató de quitina y, de acuerdo con la literatura, el HCl concentrado disuelve a la quitina (Pillai et al., 2009). Se comprobó que, en todos los casos, las disoluciones fueron totalmente homogéneas (Ver Tablas 3a hasta 3e). El ácido fórmico (CH_2O_2) y el ácido acético (CH_3COOH) concentrados y al 1% no disolvieron a la quitina al tratarse de ácidos débiles. La quitosana es soluble en ellos reafirmando que no se obtuvo este último polímero (Kim et al., 2006; Rinaudo et al., 1999). Finalmente, el agua destilada no disolvió ninguna muestra y, en todos los casos, se sedimentó la quitina.

Tabla 3a. Pruebas de solubilidad, relación 1:2 m/v (harina: disolvente MAC-1:4:1®)

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
1	HCl	Concentrado	Si	Transparente
2	H ₂ SO ₄	Concentrado	Si	Transparente
3	CH ₂ O ₂	Concentrado	No	Turbiedad
4	CH ₃ COOH	Concentrado	No	Turbiedad
5	HCl	1%	No	Turbiedad
6	H ₂ SO ₄	1%	No	Turbiedad
7	CH ₂ O ₂	1%	No	Sedimentó
8	CH ₃ COOH	1%	No	Turbiedad
9	H ₂ O destilada	Concentrado	No	Sedimentó

Tabla 3b. Pruebas de solubilidad, relación 1:5 m/v (harina: disolvente MAC-1:4:1®)

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
1	HCl	Concentrado	Si	Transparente
2	H ₂ SO ₄	Concentrado	Si	Transparente y cambió a color amarillo
3	CH ₂ O ₂	Concentrado	No	Turbiedad
4	CH ₃ COOH	Concentrado	No	Turbiedad
5	HCl	1%	No	Turbiedad
6	H ₂ SO ₄	1%	No	Sedimentó
7	CH ₂ O ₂	1%	No	Turbiedad
8	CH ₃ COOH	1%	No	Sedimentó
9	H ₂ O destilada	Concentrado	No	Sedimentó

Tabla 3c. Pruebas de solubilidad, relación 1:7 m/v (harina: disolvente MAC-1:4:1®)

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
1	HCl	Concentrado	si	Transparente
2	H ₂ SO ₄	Concentrado	Si	Cambió a naranja
3	CH ₂ O ₂	Concentrado	No	Turbiedad
4	CH ₃ COOH	Concentrado	No	Turbiedad
5	HCl	1%	No	Turbiedad
6	H ₂ SO ₄	1%	No	Sedimentó
7	CH ₂ O ₂	1%	No	Turbiedad
8	CH ₃ COOH	1%	No	Turbiedad
9	H ₂ O destilada	Concentrado	No	Sedimentó

Tabla 3d. Pruebas de solubilidad, relación 1:10 m/v (harina: disolvente MAC-1:4:1®)

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
1	HCl	Concentrado	Si	Transparente
2	H ₂ SO ₄	Concentrado	Si	Transparente y cambió a naranja
3	CH ₂ O ₂	Concentrado	No	Turbiedad

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
4	CH ₃ COOH	Concentrado	No	Turbiedad
5	HCl	1%	No	Turbiedad
6	H ₂ SO ₄	1%	No	Turbiedad
7	CH ₂ O ₂	1%	No	Turbiedad
8	CH ₃ COOH	1%	No	Turbiedad
9	H ₂ O destilada	Concentrado	No	Sedimentó

Tabla 3e. Pruebas de solubilidad, relación 1:20 m/v (harina: disolvente MAC-1:4:1®)

Tubo	Disolvente	Concentración	Solubilidad	Características
1	HCl	Concentrado	Si	Transparente
2	H ₂ SO ₄	Concentrado	Si	Transparente y cambió a naranja
3	CH ₂ O ₂	Concentrado	No	Turbiedad
4	CH ₃ COOH	Concentrado	No	Sedimentó
5	HCl	1%	No	Turbiedad
6	H ₂ SO ₄	1%	No	Sedimentó
7	CH ₂ O ₂	1%	No	Turbiedad
8	CH ₃ COOH	1%	No	Turbiedad y sedimento
9	H ₂ O destilada	Concentrado	No	Sedimentó

Simulación de la obtención de la quitina usando la paquetería Aspen Plus®

Simulación del proceso en Aspen Plus® (Aspen Technology Inc. 2017a,b)

Los equipos utilizados a escala industrial y programados en Aspen Plus se muestran en la Figura 3, donde se propuso el procesamiento de un flujo másico inicial de 500 kg/h de materia prima (exoesqueletos y cefalotórax de camarón), la cual se lavaría de manera superficial (Equipo S-100) con 250 kg/h de agua.

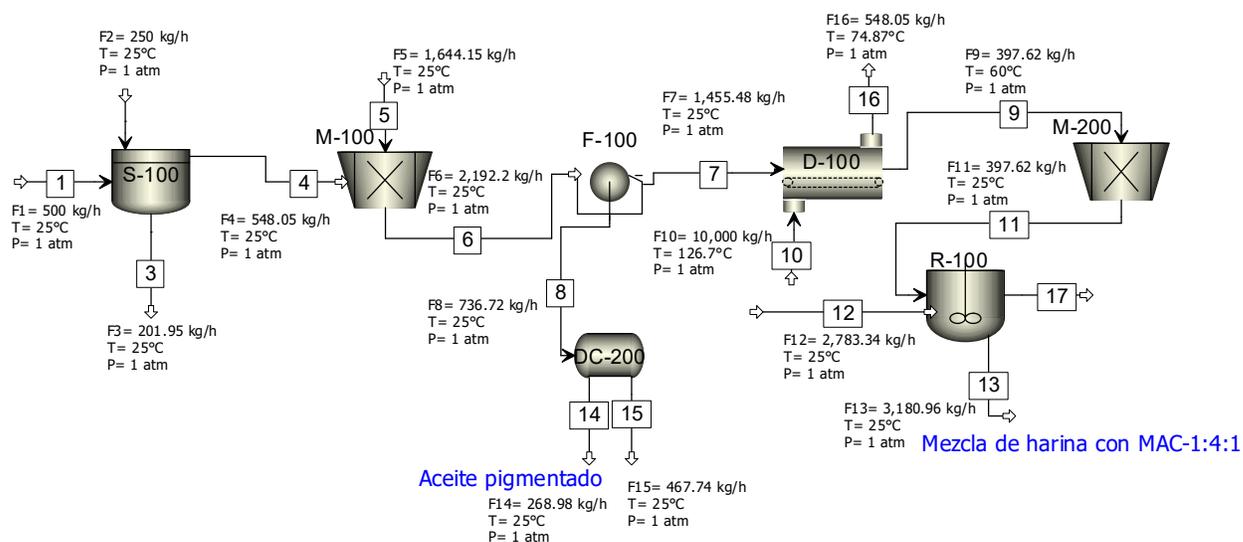


Figura 3. Simulación del proceso en el software Aspen Plus®

Posteriormente, se realizaría la molienda (Equipo M-100) en donde ingresarían los subproductos de camarón con un flujo de 548.05 kg/h y 1,644.15 kg/h de agua (promedio de una relación 1:2 en masa con 2 repeticiones y 2 enjuagues) a 25°C y a 1 atm. El objetivo de lo anterior sería el de obtener los subproductos de camarón parcialmente desproteinizados (CPD).

La pasta sólida obtenida se haría pasar por un filtro (Equipo F-100) para retener partículas con un tamaño de 117 μm y, de esta forma, separar la parte líquida (agua residual) que contendría caroteno-proteínas (ricas en astaxantina) unidas a las proteínas de mayor masa molecular. Esta fase líquida sería enviada a un decantador (Equipo DC-200) para llevar a cabo una extracción líquido-líquido, utilizando aceite de pescado para que, de esta forma, se obtuvieran caroteno-proteínas (ricas en astaxantina) en la corriente 14.

La pasta retenida en el tamiz sería recuperada y secada a 60°C (Equipo D-100) para, finalmente, proceder a su molienda y obtener el polvo (conocido coloquialmente como harina, por su apariencia física) con un tamaño de partícula de 149 μm con la finalidad de extraer posteriormente a la quitina-quitosana (corriente 13) en el reactor R-100 ya sea por lotes o tipo *batch* (por su nombre en inglés) con el disolvente MAC-1:4:1© o en forma continua.

La Figura 4 muestra la última operación del proceso de la Figura 3, la cual indica una propuesta para realizar los análisis químicos y dimensionamiento hasta la obtención de la quitina-quitosana seca siguiendo la metodología de Flores-Ortega (2008) para la obtención de esponja de quitina (mejorada por Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014). Debido a que la consistencia de la solución no mostró un excedente de calcio y de metanol, se seleccionó la relación 1:7 m/v de harina-disolvente para la producción de quitina para ser introducida en el programa Aspen Plus (Aspen Technology Inc, 2017b).

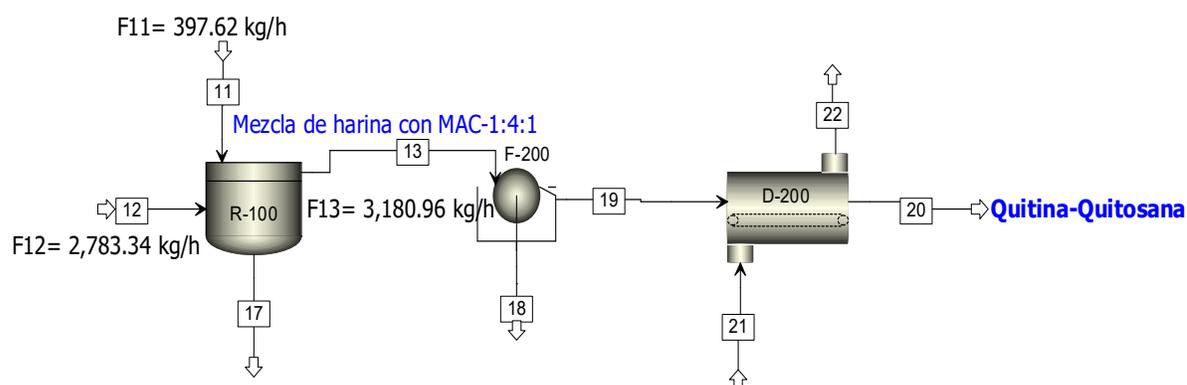


Figura 4. Continuación del proceso a partir de R-100 para la obtención de quitina-quitosana seca

La producción de quitina en solución con el disolvente MAC-1:4:1© saldría con la corriente 13 teniendo una fracción masa de 0.04 (Figura 4) ($3,180.96 \text{ kg/h} \times 0.04$), por lo que al año se tendría una producción de ($3,180.96 \text{ kg/h} \times 0.04 \times 360 \text{ d} \times 24 \text{ h/1 d}$). De acuerdo con esta solución obtenida y que no se trata de una quitina pura, sino que tiene sales y algo de aceite residual que serviría como aditivo plastificante para mejorar la textura, se pueden aprovechar los componentes con los que cuenta para espumarla y elaborar bioesponjas de quitina para su uso en materiales biodegradables (Flores-Ortega, 2008; Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014; Tomás-Reyes, 2015).

Simulación técnico-económica usando la paquetería Aspen Plus®

La producción de quitina en solución con el disolvente MAC-1:4:1© , la corriente 13, sería de 127.24 kg/h, por lo que al año se tendría una producción de 1,099,340 kg de quitina (alrededor de 1,100 toneladas). La inversión de capital total de los equipos calculada con el software Aspen Plus® sería de \$10,895,540.00 USD (dólares estadounidenses). Como una primera aproximación el costo de producción de quitina sería de alrededor de \$10 USD por kilogramo.

En una página electrónica se presenta quitina orgánica marca BioQuitina a aproximadamente \$1,000 M.N./kg o por dos bolsas \$925 M.N.:

		
<p>BioQuitina Quitina Orgánica 2 Kg Agrinos</p> <p>\$ 1,999 en 24x \$ 120</p> <p>Envío gratis</p> <p>Disponible 1 día después de tu compra</p>	<p>BioQuitina Quitina Orgánica 2 Piezas 2 Kg Agrinos</p> <p>\$ 3,699 en 24x \$ 223</p> <p>Envío gratis</p> <p>Disponible 1 día después de tu compra</p>	<p>Harina De Camarón 7-2-0 + 5 Ca, Biofert, C/quitina, 1 Kg</p> <p>\$ 240 en 24x \$ 14</p> <p>Envío gratis</p>

Tomada de <https://listado.mercadolibre.com.mx/quitina-coloidal>

Esto indicaría que el orden de magnitud del costo obtenido empleando la paquetería Aspen Plus® con los datos obtenidos experimentalmente en los laboratorios es razonable.

Con base en esta investigación teórico-experimental, a continuación se presentan las conclusiones obtenidas.

Conclusiones

Es posible aprovechar los cefalotórax y exoesqueletos de camarón para la obtención de quitina (mezclas naturales de quitina-quitosana) a nivel de laboratorio utilizando el disolvente MAC-1:4:1© como una metodología más amigable con el ambiente.

Mediante análisis químicos se corroboró la obtención de quitina que, justamente por contener sales de calcio y magnesio, posee propiedades favorables para la elaboración de bioesponjas de quitina (Flores-Ortega, 2008) con diferentes campos de aplicación como, por ejemplo, los cartuchos de separación de plaguicidas empleando columnas empacadas con estos materiales que permiten su retención y luego su disolución para su caracterización y cuantificación (Borja-Urzola et al., 2020a,b; 2021), así como

materiales biomédicos como hilos de sutura y gases (Flores-Ortega et al., 2004; Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014; Tomás-Reyes, 2015).

Además, pueden obtenerse de una fuente de bajo costo, que es un subproducto disponible en los amplios litorales de México.

Fue posible calcular los costos asociados con el equipamiento requerido para la producción de quitina-quitosana empleando paqueterías de cómputo académico para esas estimaciones técnico-económicas.

Pudo emplearse agua potable para la desprotección con la finalidad de descartar el uso de NaOH que comúnmente utiliza la industria para obtener la quitina de manera industrial.

Otros posibles usos son la obtención de películas de quitina-quitosana que pueden actuar como recubrimientos de frutos climatéricos y no climatéricos para la industria alimentaria (de las que se dieron muchas referencias en la introducción).

También pueden obtenerse esponjas estables de quitina-quitosana que, dadas sus características de dureza, permiten la producción de recipientes biodegradables sustituyendo al poliestireno espumado conocido como unicel, derivado del petróleo (Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2014; Tomás-Reyes, 2015).

Finalmente, el costo de producción de este polímero natural podría quedar prorrateado con la producción de aceites pigmentados de alto valor comercial (Tlelo-Bárcena, 2021), indicando que es factible de competir con los productos obtenidos de la petroquímica como el 'unicel' con la bondad de ser biodegradable en presencia de microorganismos que se encuentran en la composta creada por los residuos orgánicos (Tomás-Reyes, 2015).

Reconocimientos

Los autores reconocen a las siguientes instituciones por el apoyo recibido: Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ahora Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, por la beca de posgrado otorgada durante cuatro semestres para la primera autora. A la UNAM que, a través de la Secretaría Académica de Investigación y Posgrado, SAIP, de su Facultad de Química, dio apoyo financiero para reactivos y materiales (claves 5000-9065 y 5000-9067). A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, DGAPA, que a través de su Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, PAPIME, Proyecto clave 101822, dio los insumos para la utilización de las paqueterías de Aspen Technology Inc. Y, sobre todo, a las autoridades de la Facultad de Química de la UNAM por permitir a la primera autora terminar su fase experimental de corroboración durante el lapso de la pandemia (la primera autora estaba prácticamente sola en los 500 m² de laboratorios).

Referencias bibliográficas

- Arias-Torres, O., Mendoza-Márquez, A.M. 2010. Caracterización mecánica de un polímero de origen natural derivado de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Mayo 12, 2010. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2010/abril/0656717/Index.html>
- Aspen Technology Inc. 2017a. Aspen HYSYS V10® User Guide. Aspen Technology, Inc.
- Aspen Technology Inc. 2017b. Aspen PLUS V10® User Guide. Aspen Technology, Inc.
- ASPEN TECH. 2014. HYSYS 3.2. Bases de la simulación. (Actualizado al 10 de marzo de 2014). Consultado en: <https://es.slideshare.net/milordmath/54224008-hsys32manualtraslation-copy>
- Bárcenas-Ochoa, E.M. 2010. Biopolímeros de cefalotórax y exoesqueleto de camarón. Uso de aditivos químicos para modificar sus propiedades mecánicas. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Agosto 23, 2010. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptb2010/agosto/0660690/Index.html>

- Borja-Urzola, A.d.C. 2021. Obtención de quitosana a partir de residuos de camarón y su aplicación como adsorbente en la extracción en fase sólida de triazinas. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. UNAM. Defensa: Febrero 18, 2021. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2021/febrero/0808335/Index.html>
- Borja-Urzola, A.d.C. 2017. Influencia de la materia orgánica en la extracción en fase sólida de la atrazina y dos de sus metabolitos de degradación en muestras acuosas. Caso de estudio canales de Xochimilco, Cd.Mx., México. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. UNAM. Defensa: Enero 15, 2017. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2017/enero/0754226/Index.html>
- Borja-Urzola, A.d.C., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2021. Chitosan-calcite from shrimp residues: A low-cost adsorbent for three triazines removal from aqueous media. *Materials Today Communications*. 26:102131. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102131>
- Borja-Urzola, A.d.C., García-Gómez, R.S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2020b. Chitosan from shrimp residues with a saturated solution of calcium chloride in metanol and water. *Carbohydrate Research*. 497, 108116. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108116>
- Borja-Urzola, A.d.C., Bernal-González, M., García-Gómez, R.S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.(d.C.) 2020a. Adsorción de triazinas por quitosana obtenida de residuos de camarón empleando una mezcla de cloruro de calcio/metanol/agua como disolvente / *Triazines adsorption by chitosan obtained from shrimp waste by a calcium chloride/methanol/water mixture as a solvent*. *InfoANALÍTICA* (Ecuador). 8(2):181-205 (2020). ISSN 2477-8788, e-ISSN 2602-8344.
- Calderón-Villagómez, H.E., González-Piña, G., Pérez-Mendoza, V.M., Jáber, C., Durán-de-Bazúa, C. 1992. Reaprovechamiento de cabezas de camarón, un proyecto con futuro. *Rev. IMIQ*. 33(Mayo-Junio):44-57. ISSN 0188-7319
- Campos-Rodríguez, T., De-la-Cruz-Ochoa, M.M. 2021. Obtención y caracterización de quitosana mineralizada a partir de residuos de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Diciembre 14, 2021. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2021/junio/0813084/Index.html>
- Cañipa, A.J., Escobedo, G., García, R.S., Gálvez, A., Durán-de-Bazúa, C. 1998. Producción de pigmentos, quitina y quitosana a partir de residuos de la industria camaronera. Parte 1: Separación química de pigmentos y quitina y producción de quitosana. *Industria Alimentaria*. 20(6):28-38. ISSN 0187-7658
- Cañipa-Morales, A.J. 1994. Obtención de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de Maestría en Ciencias de los Alimentos (Química). Facultad de Química, UNAM. Defensa: Noviembre 29, 1994. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/pmig2016/0215134/Index.html
- Cañipa-Morales, A.J., Durán-de-Bazúa, C. 1997. Reaprovechamiento del cefalotórax de camarón, un proyecto exitoso. *Industria Alimentaria*. 19(3):10-17. ISSN 0187-7658
- Contreras-Esquivel, J.C., Balvantin-García, C., Valdez-Peña, A.U., Flores-Dávila, C.P. 2010. Obtención de quitina de residuos de camarón por microondas y/o 'autoclavado'⁶ en combinación con ácidos orgánicos en una sola etapa. Solicitud de Registro: Enero 14, 2002. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Patente Núm. 082807A1. Otorgada el 22 de julio de 2010. México, D.F. México.
- Czechowska-Buskup, R., Jarosinska, D., Rokita, B., Ulanski, P., Rosiak, J.M. 2012. Determination of degree of deacetylation of chitosan—comparison of methods. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivates*. 2012:5-20
- De-la-Cruz-Guerra, N. 2019. Evaluación de la sinergia de los recubrimientos naturales provenientes del cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto no climatérico, frambuesa (*Rubus idaeus*). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Octubre 11, 2019. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2019/septiembre/0796139/Index.html
- Enríquez-Estrada, R.A., Nava Arévalo, J.D. 2016. Estudios de vida de anaquel en productos hortofrutícolas empleando recubrimientos obtenidos de exoesqueletos y cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Febrero 05, 2016. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2016/enero/0740203/Index.html
- Escobedo, G., García, R.S., Rosas, J., Cañipa, A.J., Gálvez, A., Durán-de-Bazúa, C. 1999. Producción de pigmentos, quitina y quitosana a partir de residuos de la industria camaronera. Parte 2: Separación enzimática de quitina y producción de quitosana. *Industria Alimentaria*. 21(1):14-24. ISSN 0187-7658.
- Escobedo-Olea, G. 1994. Obtención de quitina por métodos enzimáticos a partir de cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos, Facultad de Química, UNAM Defensa: Julio 13, 1994. Ciudad de México, México.
- Flores-Ortega, R.A. 2008. Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. UNAM. Defensa: Abril 25, 2008. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2008/agosto/0629854/Index.html>
- Flores-Ortega, R.A. 2004. Bioplástico de quitina: Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas (Orientación: Química Ambiental). UNAM. Defensa: Agosto 20, 2004. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ppt2004/0333631/Index.html>
- Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2004. Patente: Extracción ecológica de quitina y subproductos. Solicitud de Registro de patente: Octubre 1, 2004. Facultad de Química, UNAM. IMPI. PA/a/2004/009517. Patente Núm. 264482. Otorgada el 12 de febrero de 2009. Ciudad de México, México

6 Palabra derivada por los autores del término autoclave, aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias situados en su interior, por medios diferentes, como vapor, temperatura o radiación (<https://dle.rae.es/autoclave?m=form>) y que ellos emplearon para romper las ligaduras de los grupos químicos donde se encuentra la quitina [nota de los(as) autores(as)]

- García, R.S., Guadarrama, P.C., Cañipa, A.J., Escobedo, G., Gálvez, A., Durán-de-Bazúa, C. 1999. Producción de pigmentos, quitina y quitosana a partir de residuos de la industria camaronesa. Parte 3: Extracción enzimática de carotenoproteínas. *Industria Alimentaria*, 21(2):27-28,30-39,42-43. ISSN 0187-7658
- García-Gómez, R.S. 1997. Extracción de carotenoproteínas de cefalotórax de camarón empleando una proteasa comercial. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Julio 2, 1997. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ppt2002/0251878/Index.html
- García-Gómez, R.S., Tlelo-Bárcena, B., Borja-Urzola, A.d.C., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2021. *Comprehensive reuse of marine by-products: A sustainable process to avoid poverty in Mexico and other countries with coastlines* / Reaprovechamiento integral de subproductos del mar: Un proceso sustentable para evitar la pobreza en México y otros países con litorales. In *Sustainability and development: 1. Socioecological Aspects* - Sustentabilidad y desarrollo: 1. Aspectos socioecológicos. Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C., editor(a). Ediciones y Gráficos Eón S.A. de C.V. - DAAD - UNAM. ISBN: 978-607-8732-42-5. Ch. / Cap. 17. Pp. 429-461. *Mexico City, Mexico* / Ciudad de México, México. 1st edition 21 May / 1^a edición Mayo 21 (2021).
- García-Luna-Pérez, I.J., Vargas-Cid, Y.E. 2016. Estudios de vida de anaquele de un fruto climatérico (higo, *Ficus carica*) y uno no climatérico (uva, *Vitis vinifera* L.) empleando recubrimientos naturales obtenidos de residuos de crustáceos y su aplicación en productos alimentarios (mermeladas). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Octubre 31, 2016. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2016/octubre/0751757/Index.html
- García-Montiel, A.L. 2016. Estudio de algunas características del puré de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) elaborado a partir de frutos recubiertos con biopelículas extraídas de residuos de la industria camaronesa. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Mayo 13, 2016. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2016/abril/0743929/Index.html
- González-Contreras, L.A. 2019. Estudios sobre la extracción de quitina-quitosana provenientes del cefalotórax de jaiba aplicados sobre pera variedad Anjou. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Septiembre 27, 2019. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2019/agosto/0794706/Index.html
- González-Piña, G., Pérez-Mendoza, V.M. 1994. Molino secador de cabezas de camarón. Tesis profesional de Diseño Industrial. Facultad de Arquitectura, UNAM. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/pmig2016/0222830/Index.html>
- Guadarrama-Mendoza, P.C. 1997. Estudio de factibilidad técnica para la obtención de pigmentos a partir de cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Abril 2, 1997. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ppt2002/0248655/Index.html
- Hernández-Torres, Diana Laura. 2014. Procedencia: Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur. Semestre: 6°. Informe de Proyecto: "Obtención de pigmentos carotenoides (astaxantinas) a partir de desechos de jaiba (*Callinectes sapidus*): Desmineralización de harinas de desechos con soluciones acuosas ácidas". Tutores: M. en C. Rolando Salvador García Gómez, Profa. Dr.-Ing. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa. Estancia corta de investigación: Del 9 de junio al 4 de julio del 2014. Ciudad de México, México.
- Jiménez-Espinosa, M.S. 2003. Comparación de dos métodos de extracción sólido-líquido para la obtención de pigmentos carotenoides a partir del cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Agosto 15, 2003. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ppt2002/0320804/Index.html
- José-González, V. 2015. Efecto de la adición en jugos de toronja de una mezcla de polímeros de quitina y quitosana obtenida a partir de residuos de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Mayo 08, 2015. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2015/abril/0727598/Index.html>
- Juárez-Cruz, J.V. 2019. Estudios de los recubrimientos elaborados con residuos de cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto climatérico: Mango (*Mangifera indica* L.). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Julio 29, 2019. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2019/mayo/0789629/Index.html>
- Kim, K.M., Son, J.H., Kim, S.K., Weller, C.L., Hanna, M.A. 2006. Properties of chitosan films as a function of pH and solvent type. *J. Food Sci.* 71:E119-E124.
- Luna-Rodríguez, A. 2003. Extracción con lípidos de los pigmentos carotenoides del cefalotórax de camarón y su evaluación como ingredientes de dietas en larvocultivos de *Litopenaeus vannamei*. Título de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Marzo 14, 2003. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ppt2002/0315576/Index.html
- Magdaleno-Hernández, Aurora. 2015. Reconocimiento del 2º Lugar en el Programa "Estancias Cortas" de Investigación, PECEI, intersemestrales de estudiantes de licenciatura de la carrera de Química de Alimentos. Departamento de Orientación Vocacional e Integración de la Secretaría de Atención a Alumnos de la Facultad de Química de la UNAM, para la investigación 'Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos empleando tecnologías más limpias: Desmineralización empleando diferentes ácidos orgánicos' (bajo la supervisión conjunta del M. en C. Rolando Salvador García-Gómez y la Profa. Dr.-Ing. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa). Octubre 8, 2015. Ciudad de México, México.
- Manahan, S.E. 1998. Introducción a la química ambiental. Primer curso optativo del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas de la Orientación Química Ambiental. Facultad de Química, UNAM. Profesor invitado de la Universidad de Missouri, Estados Unidos. Ciudad de México, México.
- Mathur, N.K., Narang, C.K. 1990. Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals. *J. Chem Educ.* 67(11):938-942.
- Mejía-Galán, Ingrid Valeria. 2015. Premio del Segundo Lugar a "Estancias cortas" intersemestrales. Modalidad Informes Técnicos, periodo comprendido del 08 de junio al 03 de julio de 2015 (participaron 43 alumnos de bachillerato, quienes fueron reclutados en la Casita de las Ciencias). Trabajo hecho bajo la supervisión de investigadores adscritos a la Facultad de Química, FQ, de la UNAM (Rolando Salvador García-Gómez y María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa): "Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos empleando tecnologías más limpias. Parte 2: Desmineralización empleando diferentes ácidos orgánicos". Enlace profesor-estudiante del Departamento de Orientación Vocacional e

- Integración de la FQ y del Programa "Jóvenes hacia la investigación" de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Noviembre 20, 2015. Museo Universum. Ciudad de México, México.
- Mendoza-Pérez, S. 2014. Obtención de pigmentos carotenoides a partir de desechos de jaiba⁷ (*Callinectes sapidus*). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Junio 2, 2014. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2014/mayo/0713134/Index.html
- Mendoza-Pérez, S., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2015. Astaxantina: Un poderoso antioxidante presente en los residuos de crustáceos con potencial nutracéutico / *Astaxanthin: A powerful antioxidant present in crustaceans residues with nutraceutic potential*. *Industria Alimentaria*. 37(3):32-41.
- Moncada-Murillo, M. 2022. Aprovechamiento integral de los residuos de camarón: Balance de materia del proceso global para la obtención de pigmentos carotenoides (astaxantinas). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Junio 23, 2022. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821688/Index.html>
- Moncada-Murillo, M., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Reyó-Herrera, A., Solís-Fuentes, J.A., Bazúa-Rueda, E.R., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2024. Revalorización de subproductos de crustáceos, aplicaciones químicas y de paqueterías de cómputo académico. Parte 1. Ejemplo de proyectos de mejoramiento e innovación educativos: Obtención teórica de pigmentos nutracéuticos / *Revalorization of crustacean by-products, chemical applications and academic computing packages. Part 1. Example of Educational Improvement and Innovation Projects: Theoretical obtaining of nutraceutical pigments*. *Ambiens, Techné et Scientia México*. 12(1):27-42.
- Ortega-Granados, J.A. 2014. Caracterización mecánica de productos espumados obtenidos de residuos sólidos de las pesquerías para su posible aplicación en la ingeniería ambiental. Tesis de Maestría en Ingeniería (Campo del conocimiento: Ingeniería Ambiental, Campo disciplinario: Sustancias y Residuos Peligrosos). Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. UNAM. Agosto 15, 2014. Ciudad de México, México.
- Ortega-Granados, J.A. 2011. Efecto del recubrimiento de fresas usando quitina-quitosana obtenida de cefalotórax y exoesqueleto de camarón en su vida de anaquel a temperatura ambiente (20±2°C) y refrigeración (4°C). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Noviembre 29, 2011. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2012/mayo/0679804/Index.html>
- Ortega-Granados, J.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2014. Patente: Proceso de química verde para la obtención de materiales espumados a partir de residuos sólidos de animales artrópodos, y productos obtenidos con el mismo. Solicitud de Registro de Patente: Diciembre 10, 2014. Facultad de Química, UNAM. Coordinación de Gestión de Propiedad Intelectual, Coordinación de Propiedad Intelectual, Dirección General de Vinculación, Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM, expediente MX/a/2014/015119 folio MX/E/2014/088656. Dirección General de Inventiones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Patente Núm. MX 371901 B. Otorgada el 06 de febrero de 2020. Ciudad de México, México.
- Pillai, C.K.S., Paul, W., Sharma, C.P. 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Prog. Polym. Sci.* 34:641-678.
- Ramírez-Cruz, M.A. 2003. Empleo de una enzima quitinolítica de *Serratia marcescens* para la obtención de carotenoproteínas a partir del cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Mayo 16, 2003. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ppt2002/0318100/Index.html>
- Rinaudo, M., Pavlov, G., Desbrieres, J. 1999. Solubilization of chitosan in strong acid medium. *Int. J. Polym. Anal. Charact.* 5:267-276.
- Romero-Olmos, D. 2020. Desarrollo de un producto alimenticio empleando pigmentos carotenoides (astaxantinas) obtenidos a partir de cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Febrero 24, 2020. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2019/diciembre/0799087/Index.html
- Salas-Osornio, J. 2011. Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: Evaluación de los recubrimientos de frutas frescas usando mezclas de quitina y quitosana obtenidas por medio de química verde. Título de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Septiembre 28, 2011. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0677848/Index.html>
- Sarabia-Bañuelos, P. 2011. Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: Obtención de quitina y quitosana del cefalotórax de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. UNAM. Defensa: Noviembre 18, 2011. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2012/enero/0676305/Index.html>
- Sarabia-Bañuelos, P., Mendoza-García, D.D., Luna-Rodríguez, A., Flores-Ortega, A., García Gómez, R.S., Bernal-González, M., Solís-Fuentes, J.A., Pedroza-Islas, R., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2015. Aprovechamiento integral de crustáceos: obtención de quitina y quitosana de su cefalotórax y exoesqueleto por métodos ecológicos y de carotenoproteínas para consumo humano. *Revista Virtual Pro*. ISSN 1900-6241. Bogotá, Colombia. Consultado en: www.revistavirtualpro.com, <http://132.248.9.195/ptd2012/enero/0676305/Index.html>
- Seseña-Alcalde, M.d.R. 2019. Estudio del cambio en las concentraciones del metanol residual en un fruto climatérico (guayabas) y en uno no climatérico (uvas verdes) que fueron recubiertos con biopolímeros de quitina-quitosana provenientes del cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*). Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Noviembre 22, 2019. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2019/junio/0790416/Index.html

7 Jaiba es una palabra de origen taíno muy usada en el litoral del Golfo de México y el Mar Caribe para el cangrejo azul *Callinectes sapidus* [Nota de los(as) editores(as)]

-
- Tenorio-García, E. 2013. Obtención, aplicación y evaluación de la vida de anaquel de un alimento adicionado con pigmentos carotenoides (astaxantina) obtenidos del cefalotórax de camarón. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Noviembre 27, 2013. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2013/noviembre/0706121/Index.html>
- Tlelo-Bárcena, B. 2021. Reaprovechamiento de crustáceos para la obtención de bio-materiales para la industria química y de proceso. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Química. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental, Sustancias y Residuos Peligrosos). Defensa: Noviembre 19. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2021/septiembre/0815616/Index.html>
- Tomás-Reyes, S. 2015. Elaboración de bioesponjas de quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto de camarón mediante la utilización de plastificantes naturales, almidón de maíz. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Enero 20, 2015. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2014/noviembre/304159855/Index.htm>
- Torres-Aguirre, L. 2007. Extracción de caroteno-proteínas de cefalotórax de camarón con aceites comestibles. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Noviembre 21, 2007. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/pd2008/0625180/Index.html
- Vázquez-Marcial, J.S. 2015. Extracción de carotenoides (astaxantinas) a partir de exoesqueletos de jaibas (*Callinectes sapidus*) bajo diferentes condiciones de acidez empleando tecnologías más limpias. Tesis profesional de Químico de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Octubre 02, 2015. 132.248.9.195/ptd2015/septiembre/0735527/Index.html
- Velázquez-Solís, J.A. 2013. Efectos en uvas de mesa del recubrimiento con películas de quitina-quitosana obtenidas por medio de química verde en su apariencia, pH, porcentaje de acidez, contenido de humedad y vitamina C. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Diciembre 2, 2013. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2013/diciembre/0706661/Index.html>
- Villanueva-Jacobo, P. 2022. Efecto sobre la vida de anaquel de ciruelas negras (*Prunus domestica*) recubiertas con biopolímeros obtenidos de exoesqueletos de crustáceos. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Enero 26, 2022. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821777/Index.html>
- Zarazúa-Cruz, V. 2022. Estudios de las concentraciones del metanol en un fruto climatérico (*pera*, *Pyrus communis*) y en uno no climatérico (*zarzamora*, *Rubus fruticosus*) que fueron recubiertos con biopolímeros obtenidos de residuos de crustáceos. Tesis profesional de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Enero 26, 2022. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2021/noviembre/0820428/Index.html>