



**CONACyT Proyecto 310812**

**Foro sobre la apropiación social de tecnologías para la gestión sostenible del agua**

**Simulación de un proceso en una planta procesadora de residuos de camarón que involucra la reutilización del agua utilizando el software Aspen HYSYS**

**Simulation of a process in a shrimp waste processing plant that involves the reuse of water using Aspen HYSYS software**

**Tlelo-Bárcena Beatríz<sup>1\*</sup>, García-Gómez Rolando Salvador<sup>1</sup>, Durán-Domínguez-de-Bazúa María del Carmen<sup>1</sup>**

1) Laboratorios 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAyQA). Circuito de la Investigación Científica s/n. Conjunto E, Facultad de Química, UNAM, 04510 Ciudad de México, México. beatriztb.unam@gmail.com; rolandoga2000\_a@yahoo.com; mcduran@unam.com

**Palabras clave:** Astaxantina, carotenoproteínas, residuos de camarón, residuos de camarón parcialmente desproteinizados, quitina-quitosana

**Key words:** Astaxanthin, carotenoproteins, shrimp residues, partially deproteinized shrimp residues, chitin-chitosan

## **INTRODUCCIÓN**

La ubicación geográfica de México y de sus extensos litorales, lo hacen apto para la comercialización de especies marinas. De estas especies destacan los crustáceos y, entre ellos por su comercialización, el camarón. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), México ocupa el séptimo lugar como productor mundial de camarón, con una producción anual promedio de 221,695.00 toneladas, siendo Sinaloa, el estado que se ha consolidado como líder en la producción de camarón con un porcentaje de comercialización de 42.6% durante el 2018, seguido de Sonora con un 34.1% y Nayarit con un 7.3% (Panorama Agroalimentario, 2019). De acuerdo con la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA, 2018), existen 134 plantas procesadoras de camarón de las cuales, el 50% se encuentran ubicadas en los estados de Sonora y Sinaloa. Debido a que el 50% del total del cuerpo del camarón es consumido, el resto (cefalotórax o cabeza de camarón, como es conocido y cáscaras y patas o exoesqueletos) es desechado en tiraderos municipales o en alta mar. Sin embargo, es posible obtener de estos componentes, productos útiles para la industria química y de proceso. Los subproductos obtenidos a partir de estos residuos son: Quitina,

quitosana, pigmentos carotenoides (astaxantinas) y harina de camarón (Velasco-Reyes *et al.*, 2019). La quitina es considerada el segundo polímero estructural más abundante de la Tierra después de la celulosa, el cual, resulta adecuado para la elaboración de fibra, quitosana, esponjas, plásticos, cosméticos e hidrolizados proteicos empleado en la alimentación animal, entre otros (Borja-Urzola *et al.*, 2020). Los compuestos de menor concentración y también con valor agregado son: Lípidos y pigmentos carotenoides (astaxantina), los ácidos poliinsaturados y fosfolípidos (Velasco-Reyes *et al.*, 2019). El proceso industrial para la obtención de quitina consiste en tres etapas básicas: desmineralización para remover el carbonato de calcio; desproteinización para remover proteínas y despigmentación. Existe una gran variedad de procedimientos químicos para la obtención de quitina. La desmineralización generalmente se realiza con HCl a concentraciones de 0.275 – 2 M; temperaturas entre 0 - 100 °C y tiempos de 1 - 48 h. La desproteinización se lleva a cabo comúnmente con 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). Por ello, es posible observar el uso de ácidos y bases fuertes que puede generar problemas en su manejo y modificaciones químicas en los productos y se busca seguir los principios de la química verde, usando sustancias menos dañinas al ambiente y/o que puedan recuperarse para su uso posterior.

## METODOLOGÍA

Para esta parte experimental, se llevó a cabo el prototipo del diseño de una planta procesadora de residuos de camarón que podría estar instalada en el estado de Sinaloa, utilizando el software Aspen HYSYS V10 para su simulación. En el proceso, se estima que ingrese un lote de residuos de camarón (CC) con un flujo de 500 kg/h. La planta operará durante 8 horas al día durante todo el año (365 días) para obtener tres subproductos: Quitina, pigmentos carotenoides (astaxantinas) y carotenoproteínas. A continuación, se describen las operaciones unitarias que se realizan en la planta. La materia prima de esta planta son los residuos del camarón provenientes de plantas empacadoras y exportadoras de camarón sin cabeza del estado de Sinaloa. Tras realizar el descabezado y eliminación de patas y cáscaras, la materia prima es transportada a la planta y recibida en el almacén en contenedores de acero inoxidable para continuar con la cadena de frío. Al comenzar un nuevo lote, el CC es pesado en una báscula para llevar un control adecuado de la materia prima que se va a procesar. Por medio de un paleo, la materia prima es colocada en una banda vibratoria para su lavado, el cual es realizado por medio de aspersores colocados en la parte superior de la banda vibratoria a través de una malla metálica. El objetivo de la malla es eliminar fácilmente el exceso de agua y el material indeseable que ésta arrastre. El tanque de agua suministrada a los aspersores emplea un flujo de 0.25 m<sup>3</sup>/h a condiciones estándar de presión y temperatura. La banda vibratoria transportadora, conecta hacia un equipo de molienda en donde ingresa el lote de CC con un flujo de 500 kg/h y 1 m<sup>3</sup>/h de agua (relación 1:2 en masa<sup>1</sup>) a 25°C y a 1 atm, con el objetivo de obtener residuos de camarón parcialmente desproteinizados (CPD) y así, eliminar la mayor cantidad de proteínas, grasas, pigmentos y minerales solubles en el agua que sale (Flores-Ortega *et al.*, 2004). La pasta sólida obtenida se hace pasar por un tamiz rotativo con malla de 1 mm de abertura para separar la parte líquida que contiene pigmentos y proteínas y que son enviados a un evaporador al vacío para ser separados del agua y que, a su vez, esta agua sea reutilizada para realizar el lavado del CC. La pasta retenida en el tamiz es recuperada manualmente, repitiéndose el proceso de molienda y tamizado una vez más. El CPD se enjuaga con 0.125 m<sup>3</sup> de agua y se hace pasar por un tamiz rotativo para obtener un tamaño de partícula de 149 µm < P < 2mm,

---

<sup>1</sup> Masa y peso no son sinónimos (masa en kg y peso en newtons)

considerando que el agua de lavado ingrese al evaporador al vacío para su reutilización. Finalmente, la pasta es secada a 60°C. Se procede a su molienda y una vez obtenido el polvo (conocido coloquialmente como harina), se procede a extraer la quitina-quitosana en un reactor intermitente (*batch* en inglés), utilizando el disolvente patentado MAC-1:4:1© a 25°C durante 48h (Flores-Ortega *et al.*, 2004). Finalmente, para la obtención de los pigmentos carotenoides de tipo astaxantina, de la parte líquida obtenida del tamizado y del lavado previo (y que fueron dirigidos al evaporador al vacío), se les elimina el agua residual para que, una vez condensada, pueda reutilizarse hacia el proceso de lavado de nuevos residuos. Una vez eliminada el agua y concentrados los residuos, se cuentan con una pasta rica en pigmentos carotenoides (astaxantinas) y algunos residuos (proteínas solubles). Otra ventaja de utilizar evaporación al vacío, es que este mecanismo funciona mediante baja presión, por lo que la temperatura es lo suficientemente baja para no degradar los pigmentos (Romero-Olmos, 2020). Los pigmentos carotenoides (astaxantinas) se extraen con aceite de soya o de pescado, dependiendo de la utilización que se le vaya a dar en su posterior comercialización, en una relación 1:10 m/v durante 20 min a 80°C, en un tanque con una adaptación a un calentador industrial de inmersión de brida. Una vez extraídos, se utiliza una centrifuga industrial a 10,000 rpm y con esto, se separan los pigmentos carotenoides de la fase oleosa y de las proteínas (y/o algunos residuos de sales minerales) que se pudieran encontrar en los sedimentos. Los sedimentos pueden ser removidos de la fase oleosa mediante un disolvente orgánico como la acetona o con una polaridad intermedia. Por último, son secados a una temperatura de 40-60°C. El suministro de agua se aprecia en las líneas 2, 4 y 10 de las Tabla 1 y Fig. 1, con los flujos de 0.25, 1 y 0.125 m<sup>3</sup>/h, respectivamente. Todas las líneas se programan en la entrada a 20°C y 19.62 kPa. Las tuberías seleccionadas son de acero estándar con un diámetro nominal de 15 mm y de cédula 40. La longitud de las tuberías de succión en las líneas 2, 4 y 10 es de 3.5, 3.5 y 2 m, respectivamente, mientras que las tuberías de descarga son de 20, 15 y 10 m, respectivamente.

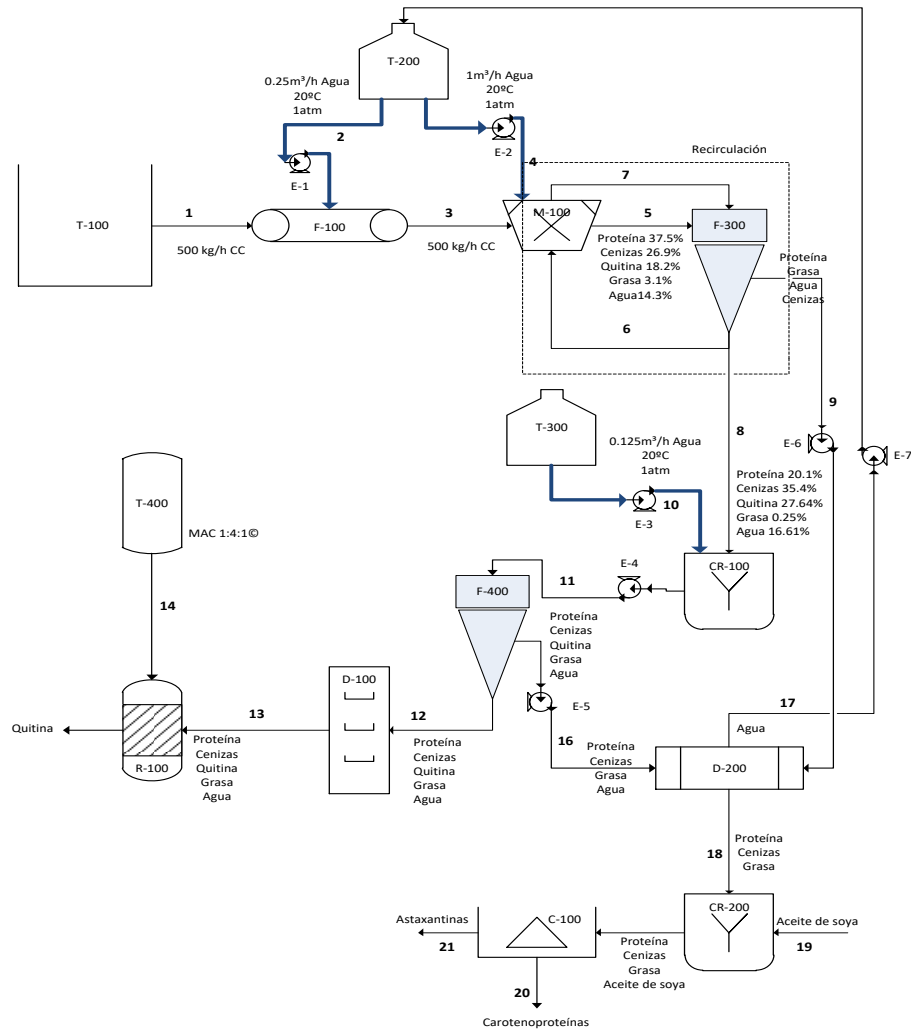
**Tabla 1.** Descripción de los equipos (diagrama de proceso) de una planta procesadora de CC

Equipo	Descripción
T-100	Almacenamiento de residuos de CC
F-100	Banda transportadora para el lavado de CC
T-200	Tanque que suministra agua a F-100 y F-200
M-100	Molienda de CC con agua
F-300	Tamiz rotativo para separar la pasta del agua
CR-100	Mezclador de CPD con agua
T-300	Tanque que suministra agua al equipo CR-100
F-400	Tamiz rotativo para la reducción de partículas
D-100	Secador a 60°C
R-100	Reactor intermitente para la obtención de quitina-quitosana
T-400	Tanque de almacenamiento del disolvente MAC 1:4:1©
D-200	Evaporador al vacío para la reutilización de agua
CR-200	Mezclador para extraer pigmentos con aceite de soya
C-100	Centrifugadora para la separación de astaxantinas y carotenoproteínas
E-1, E-2, E-3	Bombas de agua
E-4, E-5, E-6	Bombeo del CPD
E-7	Bombeo del agua condensada para ser reutilizada

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los siguientes resultados se basan en una economía circular que busca el reaprovechamiento del agua de una planta procesadora de residuos de camarón que podría estar ubicada en el Estado de Sinaloa. Para ello, se utilizó el simulador Aspen HYSYSV10 con el paquete termodinámico para agua en estado líquido “ASME Steam” (2017). La Tabla 2 presenta los resultados calculados en la simulación. Es importante destacar que las fracciones masa que

aparecen en el diagrama, fueron tomadas del trabajo experimental de Flores-Ortega (2008) y las especificaciones de la tubería fueron tomados de los que son utilizados más comúnmente en la industria de alimentos. En los sistemas de agua, el fluido pierde energía por el rozamiento continuo con la tubería y por la fricción que ocurre en la conducción, lo cual conduce a pérdidas de carga o caídas de presión (Tabla 2).



**Figura 1.** Proceso de una planta procesadora de residuos de cefalotórax de camarón

**Tabla 2.** Resultados del proceso de simulación en Aspen HYSYS V10

Línea	Presión de bombeo (kPa)	Presión de salida (kPa)	Caída de presión (kPa)	Potencia de la bomba (KW)	Costo *\$/año	Cantidad de agua por 365 días (m³)
2	259.8	250	9.8	0.0241	58.5	730
4	1009	1000	9	0.3742	908	5840
10	705.4	700	5.4	0.0327	79.4	365
<b>TOTAL</b>					<b>1,045.9</b>	<b>6,935</b>

\*Tarifa CFE (2020): \$0.847MNX por cada uno de los primeros 75 kilowatts-hora

Debido a que la longitud de la tubería es más grande en la línea 2, la caída de presión es mayor, es decir, 9.8 kPa, seguido de la línea 4 con 9 kPa que, aunque en este caso la longitud de tubería es menor con respecto de la línea 2, los valores se aproximan debido a que el caudal en

la línea 4 es más grande con respecto de las otras líneas. Con la potencia requerida de la bomba, es posible estimar el costo de energía en pesos mexicanos (\$MXN) por año para el requerimiento de agua, siendo la línea 4 el costo más alto, debido a que el caudal de agua requerido es más grande, es decir, un costo \$908 para un caudal de 1 m<sup>3</sup>/h. En la Tabla 2 se aprecia la cantidad de agua consumida por año, la cual es de 6,935 m<sup>3</sup>/año y el agua reaprovechada (líneas 4 y 10, sumando 6,205 m<sup>3</sup>/año) dirigidas al evaporador al vacío, con 89.47% del agua que puede ser reaprovechada.

## CONCLUSIONES

El diseño de la planta procesadora de residuos de camarón mediante el paquete Aspen HYSYS V10, considera los datos experimentales de Flores-Ortega (2008) en cuanto al uso del agua, ya que se hace uso de una metodología amigable con el ambiente al utilizar agua para eliminar gran parte de proteínas, grasas, pigmentos y minerales, descartando ácidos y bases fuertes. Del total de agua utilizada durante todo el proceso, es reutilizado el 89.47%, indicando la sustentabilidad de la propuesta de proceso.

## RECONOCIMIENTOS

La primera autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la beca de posgrado otorgada para realizar la Maestría en Ingeniería (Ingeniería ambiental, Agua).

## BIBLIOGRAFÍA

- Aspen Technology Inc. (2017). Aspen HYSYS V10® User Guide. Aspen Technology, Inc.
- Borja-Urzola, A.d.C., García-Gómez, R.S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. (2020). Chitosan from shrimp residues with a saturated solution of calcium chloride in methanol and water. *Carbohydrate Research*. 497, 108116. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108116>
- CFE. (2020). Comisión Federal de Electricidad. México. <https://www.cfe.mx/tarifas/Pages/Tarifas.aspx>
- CONAPESCA. (2018). Comisión Nacional de Pesca. México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/>
- Contreras-Esquivel, J. C., Balvanti-García, C., Valdez-Peña, A. U., Flores-Dávila, C. P. (2010). *Obtención de quitina de residuos de camarón por microondas y/o 'autoclavado' 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.
- Flores-Ortega, R.A. (2008). Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de Doctorado en Ciencias. UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México. México.
- Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. (2004). Extracción ecológica de quitina y subproductos. Solicitud de Registro: 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.
- Panorama Agroalimentario. (2019). Camarón. Información de redes internacionales ("internet"). Dirección electrónica: <file:///C:/Users/Beatriz/Downloads/Atlas-Agroalimentario-2019.pdf>
- Romero-Olmos, D. 2020. Desarrollo de un producto alimenticio empleando pigmentos carotenoides (astaxantinas) obtenidos a partir de cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*). Tesis profesional (Química de Alimentos). UNAM, Facultad de Química. Defensa: Febrero 24. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2019/diciembre/0799087/Index.html
- Velasco-Reyes, J. F., Días-Narváez, G. C., Ramírez-Carrillo, R. E., y Pérez-Cabrera, L. E. (2019). Producción de 'chitosano' a partir de desechos de camarón generados del procesamiento industrial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 4: 897-898.