

# Quitosano: Evaluación económica para la producción industrial de un biopolímero

GUZMÁN ROSELLÓN MARIANA CASSANDRA, RAMOS ORTÍZ GEMA DANIELA, BENÍTEZ-RICO ADRIANA, LÓPEZ-VELARDE DANIEL

**Resumen—** Se realizó la evaluación económica y de riesgos para el desarrollo de una planta industrial que produzca el biopolímero quitosano en México a partir de desechos de otra industria nacional. Se propone la obtención de quitosano en un proceso sencillo que requiere de mezcladores, tanques de lavado y prensas. El quitosano proviene de la quitina, material del que está conformado el exoesqueleto de ciertos artrópodos, de los cuales destacan los camarones. Este estudio propone la extracción de quitina a partir de residuos de la industria camaronera por remoción de las proteínas y minerales de la cáscara del camarón, el quitosano se obtendría por medio de una desacetilación. Se desarrollaron la metodología apropiada para el análisis de rentabilidad, el análisis de sensibilidad bajo la variación de ventas y un análisis de riesgo – método Montecarlo. Con el flujo de efectivo, la tasa interna de rendimientos (TIR) fue mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y el valor presente neto (VPN) resultó positivo, por lo que se consideró que el proyecto es altamente viable. Las proyecciones de costos y ventas crecieron de forma lineal, por lo que se decidió meter un factor extra en el análisis de Montecarlo.

## I. INTRODUCCIÓN

El quitosano es un polímero natural obtenido a partir de quitina, es uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza. La quitina forma parte de la estructura de soporte de numerosos organismos vivos, tales como artrópodo, moluscos y hongos [1]. La quitina y el quitosano son biopolímeros que en los últimos años han encontrado gran cantidad de aplicaciones. Particularmente en la industria farmacéutica el quitosano “constituye un vehículo para la encapsulación del fármaco, protegiéndolo y liberándose de forma controlada, además de promover su absorción a través del epitelio. Así mismo, el quitosano presenta propiedades necesarias para su uso en dicha industria, como son su biodegradabilidad, biocompatibilidad y baja toxicidad. La toxicidad del quitosano por vía oral es baja; se ha descrito una LD50 (dosis letal para el 50% de un conjunto de animales de prueba) de 16g/Kg en ratas” [2].

Este material tiene ventajas competitivas fundamentadas en una estrategia diferenciadora, que le proporciona ventaja en el mercado ya que la cáscara de camarón y otros crustáceos que

son desecho orgánico de las industrias pesqueras; son la materia prima principal en la línea de producción.

Además, el producto terminado, al ser un biopolímero, es amigable con el ambiente a diferencia de algunos polímeros tradicionales que tienen largos periodos de descomposición [3].

Cabe mencionar el auge de la industria de biopolímeros ya que se considera que pueden reemplazar a algunos materiales que se utilizan en la actualidad. Es decir, los biopolímeros son una alternativa viable ante la preocupación por la producción de desechos plásticos no amigables con el medio ambiente.

El uso de quitosano en aplicaciones farmacéuticas presenta ventajas como la baja densidad, estructura porosa, bajo costo, es hidrofílico, biocompatible y casi nula toxicidad [4]. Una de sus propiedades físicas que lo hacen interesantes es porque resulta insoluble en agua, bases y solventes orgánicos características de mucho interés para la industria de la biotecnología. [5]

El quitosano permite una liberación controlada de fármacos, por otra parte, los derivados del quitosano también se presentan como vehículos adecuados para la administración de vacunas genéticas vía mucosas.[6]

Considerando todas las bondades y propiedades de este material se considero la evaluación de una planta que se dedique a la conversión de quitina a quitosano aprovechando los residuos de la industria camaronera en el país. México es el séptimo productor de camarón a nivel mundial con una producción de 223 mil 965 toneladas en 2016 de acuerdo con la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). En la Figura 1, se observan los estados con mayor producción en México y las proyecciones de crecimiento para los próximos años.

## II. METODOLOGÍA DE ESTUDIO PARA LA PROPUESTA DE UNA PLANTA PILOTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DE QUITOSANOS

Se efectuó un estudio de mercado para conocer la oferta y la demanda del quitosano en México. Se investigaron los precios históricos de materia prima y producto terminado para realizar una proyección de precios y estimaciones de ventas del producto a comercializar.

Para la propuesta de una planta química productora de quitosano se determinaron los equipos y requerimientos necesarios para la instalación y ejecución de la empresa, y a partir de ello se estimó la inversión inicial del proyecto, así como los costos operativos y administrativos de la planta.

GEMA DANIELA RAMOS ORTÍZ Y MARIANA CASSANDRA GUZMÁN ROSELLÓN pertenecen a la carrera INGENIERÍA QUÍMICA de la FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS y realizaron el proyecto dentro del curso EVALUACIÓN DE PROYECTOS Y NUEVOS MATERIAALES II (Email: [gd.ramos@lasallistas.org.mx](mailto:gd.ramos@lasallistas.org.mx) [mar.cgr@hotmail.com](mailto:mar.cgr@hotmail.com)).

El proyecto fue asesorado por DR. DANIEL LÓPEZ VELARDE Y DRA. ADRIANA BENÍTEZ RICO

**Top 10 en volumen de producción**  
**Principales entidades productoras**

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2015-2016
<b>Total nacional</b>			
1	Sinaloa	99,296	3.7
2	Sonora	67,084	-3.6
3	Nayarit	17,661	57.3
4	Tamaulipas	14,185	2.0
5	Baja California Sur	10,816	-18.5
6	Campeche	4,976	-30.7
7	Colima	3,532	4.0
8	Veracruz	3,365	-7.3
9	Oaxaca	1,508	-21.8
10	Chiapas	1,405	-25.1



Figura 1. Principales estados productores de camarón en México. Imagen tomada y adaptada del blog de la SAGARPA.

Se aplicaron las técnicas de análisis económico de valor presente neto (VPN) y tasa interna de rendimientos (TIR) sobre el flujo de efectivo del proyecto a 10 años.

Por último se realizó un análisis de sensibilidad para determinar qué tanto afecta la variación de ventas sobre la rentabilidad de la empresa, y se usó el método Monte Carlo para realizar un análisis de riesgo del proyecto sobre la utilidad.

Para la síntesis de quitosano, primero se debe obtener la quitina, que se encuentra en el exoesqueleto del camarón, la cáscara se desproteíniza, lo que da lugar a la quitina pura. Posteriormente, la quitina se somete a la acción de un medio alcalino concentrado y a temperaturas superiores a 60°C la reacción de desacetilación. Esta reacción consiste en la pérdida del resto acetilo del grupo amido de la quitina, el producto de esta reacción se denomina quitosano. La Figura 2, presenta la reacción y el mecanismo de reacción descrito.

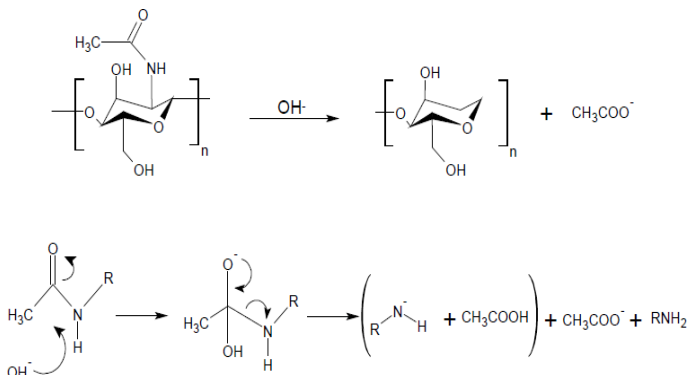


Figura 2. Proceso químico para la obtención de quitosano a partir de la desacetilación de la quitina.

**III. PROPUESTA DE PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO**

A nivel industrial la obtención de quitosano requiere operaciones unitarias básicas. Se propone la siguiente secuencia para una planta:

1. La materia prima, en este caso cascara de camarón entra a la planta para iniciar el proceso de selección, en el cual se limpiará y retirará toda la basura que pueda contener para así ser triturada y sometida a un lavado profundo con agua para terminar de remover cualquier materia orgánica adherida a las paredes de la cascara de camarón.
2. Después del lavado pasa a un proceso de prensado para retirar la mayor cantidad posible de líquido.
3. Continúa el proceso de desproteínización con una disolución 5% NaOH que se calentará hasta 85°C donde el producto obtenido tendrá una coloración rosada que se prensa para retirar la solución la base.
4. Posteriormente el material prensado es lavado para su neutralización y finalmente un segundo prensado para retirar el agua.
5. Habiendo desproteínizado la materia prima debe pasar a un proceso de acidificación en un tanque de agitación con una solución de HCl 5%, para después realizar nuevamente un prensado, lavado y nuevamente prensado para retirar exceso de líquido. En este punto se tiene ya la quitina proveniente de la cáscara de camarón [5].

La quitina entra en la última etapa de la cadena de operaciones unitarias a un tanque de agitación con una solución 5% NaOH para el proceso de desacetilación a 85°C, al salir del tanque se enjuaga nuestro producto para conservar pH neutro pasa por un último prensado, secado y molienda para ser empacado [7]. En la Figura 3, se muestra el diagrama del flujo del proceso propuesto.

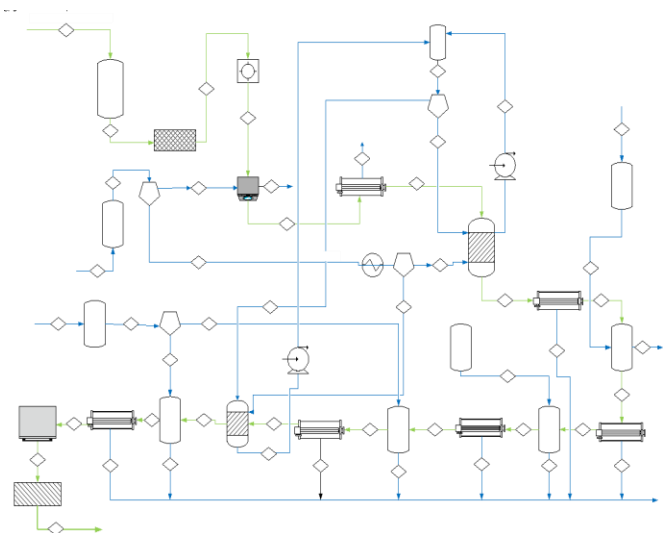


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso [5].

**IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

La realización de un proyecto nuevo como el propuesto en este trabajo va de la mano con la evaluación económica que involucre los costos de la inversión, las ganancias y el análisis de riesgo. A continuación, se presentan algunos de los

conceptos básicos y las ecuaciones matemáticas que se emplean en esta área.

a. **TMAR:** Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento

$$TMAR = Tasa\ Inflación + Premio\ al\ riesgo \quad ec. 1$$

b. **VPN:** Valor Presente Neto

$$VPN = \frac{FE_1}{(1+i)^t} \quad ec. 2$$

*FE = Flujo de Efectivo en el periodo t; i = tasa de interés o costo de oportunidad; t = period*

c. **TIR:** Tasa Interna de Rendimiento

$$Flujos\ descontados = Inversión\ Inicial \quad ec. 3$$

### V. ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó un análisis económico general para determinar los costos relacionados con el desarrollo de la planta. El primer año se observa en la Tabla 1. Y posteriormente aumentan de forma lineal durante diez años, pues el análisis histórico, no es suficiente para encontrar las desviaciones a través de los años. Tomando en cuenta costos directos e indirectos, la inversión inicial es de: \$17,322,034.00.

Tabla 1. Análisis de costos para la producción de quitosano en 2018.

Análisis del costo anual 2018	
<b>MATERIA PRIMA</b>	
Concepto	Precio MXN
Cascara de camarón	\$ 7,686,540.00
Agua de proceso	\$ 267,456.00
Reactivos	\$ 5,915,356.02
<b>TOTAL MATERIA PRIMA</b>	<b>\$ 13,869,352.02</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	
Concepto	Precio MXN
Nómina empresarial	\$ 8,976,000.00
<b>SERVICIOS AUXILIARES</b>	
electricidad, combustible	\$6,920,141.69
<b>GASTOS INDIRECTOS</b>	
Concepto	Precio MXN
Administrativos	\$ 70,000.00

### VI. ANÁLISIS DE GANANCIAS

En la Tabla 2, se muestran el precio por kilogramo de producto terminado, la estimación del ingreso por las ventas anuales, los costos y ganancias anuales de la producción de 260 toneladas de quitosano.

Tabla 2. Análisis de ganancias- quitosano

Análisis de ganancias	MXN
Concepto	
Precio de venta Kg	\$127.44
Ventas Anuales	33,134,400.00
Costo anual de producción	17,469,391.20
Ganancia bruta mensual	1,305,417.40
<b>Ganancia bruta anual</b>	<b>15,665,008.80</b>

Considerando un crecimiento totalmente lineal en los precios del producto terminado, se tendría una ganancia bruta anual de \$15,665,008.80

### VII. ANÁLISIS DE RIESGO: MÉTODO MONTECARLO

El análisis de riesgo mediante el método Montecarlo, se realizó sobre el VPN, haciendo una simulación con distribuciones de probabilidad sobre las utilidades operativas; esto porque es el dato con mayor variación pues se cuenta con datos de proyección lineal.

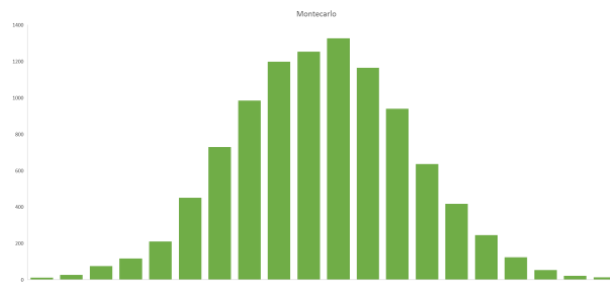


Figura 4. Grafica de análisis de Montecarlo para la producción de quitosano.

### VIII. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó un análisis de sensibilidad sobre las ventas, encontrando que incluso si las ventas bajan a \$29,690,450.85, el proyecto sigue siendo rentable pues hasta ese momento, el VPN se mantiene positivo.

### IX. FLUJO DE EFECTIVO

Se realizó el análisis de flujo de efectivo del proyecto considerando costos, ventas, depreciación e impuestos a 10 años, la empresa obtuvo un VPN de \$29,258,467.16 y una TIR de 44%, considerando una TMAR de 17%. El VPN al ser positivo y la TIR mayor a la TMAR, implica que el proyecto es económicamente estable.

Esto quiere decir que se obtienen mayores ingresos de lo que supone la inversión inicial con la TMAR.

### X. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Gran parte de la quitina se considera como desecho de organismos marinos. Esto significa que la obtención de este material es poco nociva para el medio ambiente, es importante considerar que la degradación de los residuos de los mariscos es lenta y son aproximadamente 120,000 toneladas lo que se desecha al año; por lo tanto, apoyar su uso y darle un valor agregado al residuo de la industria camaronera, significa una disminución considerable en la producción de polímeros artificiales y una medida de aprovechamiento de recursos naturales.

Para poder realizar el estudio económico también se modeló la planta química, de este modo se contabilizaron los equipos, gastos y ganancias que se podrán tener a partir del dimensionamiento de la planta industrial, obteniendo como resultado una planta con una capacidad productiva de nueve mil toneladas mensuales de quitosano, con una pureza superior al 98%. De igual manera se obtuvieron las cantidades

de materia prima necesaria, así como de todos los servicios que se requieren.

En el caso de América, el principal productor es USA sin embargo el volumen no es comparable con el producido en Asia, por lo que considerando una demanda insatisfecha de Quitosano en América encontramos un nicho de mercado para el proyecto en México pues, podría resultar mucho más viable para países del continente comprarlo en México que traerlo desde Asia o USA, esto reduciría costos logísticos dando oportunidad al crecimiento de la industria en América

El análisis de sensibilidad nos permitió evaluar la capacidad del negocio de soportar un decrecimiento en las ventas de aproximadamente 29 millones de pesos. Este decrecimiento supondría un VPN aún positivo.

Por su parte, el análisis Montecarlo, mediante la simulación, permite predecir la variabilidad que se podría tener en utilidades operativas anuales, dados los resultados de este análisis, se determinó que es un proyecto de bajo riesgo. La ganancia del proyecto es alta debido a que los costos son bajos, es decir, en el caso de la materia prima, la cual se tiene prevista que sea quitina a partir de cáscara de camarón, se adquiere como deshecho a muy bajo costo, lo cual permite que el proyecto tenga una ganancia mucho mayor y de este modo un retorno de inversión a mediano plazo.

Sin embargo, también se encontraron algunas limitantes, al ser un proyecto dirigido a la industria farmacéutica se debe considerar las estrictas normas para conservar la inocuidad en el proceso y en el producto terminado.

## XI. CONCLUSIONES

El quitosano como biopolímero contiene muchas propiedades que lo hacen atractivo para diversas industrias, por su origen amigable con el medio ambiente y por su económico proceso de producción.

En nuestro país podría representar una gran oportunidad de negocio sustentado en la evaluación económica y el análisis de riesgos presentadas en este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] V. Zambrano, "Obtención de un Polímero Floculante a partir del Exo-Esqueleto del camarón para el tratamiento de aguas residuales generadas en la industria alimenticia", Tesis de fin de Maestría, Universidad de Guayaquil, 2016
- [2] R. Exposito, "Quitosano, un biopolímero con aplicaciones en sistemas de liberación controlada de fármacos", tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 2010
- [3] J. Real, "Biopolímeros contra la contaminación", La Gaceta UDG, vol. 476, pp. 8, mar 2007
- [4] M. Colina, "et al", "Evaluación de los procesos para la obtención química de Quitina y Quitosano a partir de desechos de cangrejos. Escala pilote e industrial", Revista Iberoamericana de Polimeros, vol. 15, pp. 23, 2014
- [5] D. Salas, "Estudio de prefactibilidad para la puesta en marcha de una planta procesadora de quitina, ubicada en el cantón Eloy Alfaro de la provincia del Guayas", Tesis de fin de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, 2011.
- [6] Nanotecnología farmacéutica: una galénica emergente", Real Academia Nacional de Farmacia, España, 2006 [En línea]. Disponible en file:///C:/Users/C751948/Documents/Quitosano/untitled.pdf. [Accedido: 10 de octubre 2018]
- [7] A. Barra, "et al". "Obtención de Quitosano". Sitio Argentio de Producción Animal, Santa Cruz, Argentina/2010 [en línea].

Disponible en: [http://produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf](http://produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf). [Accedido: 10-oct-2018]

## Fuentes de consulta informativas

- [8] Giraldo, J. (2013). Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del Quitosano. Agosto 10, 2018, de ND Sitio web: [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Giraldo9/publication/277302110\\_PROPIEDADES\\_OBTENCION\\_CARACTERIZACION\\_Y\\_APLICACIONES\\_DEL\\_QUITOSANO/links/55660fd208aecc777359e7f/PROPIEDADES-OBTENCION-CARACTERIZACION-Y-APLICACIONES-DEL-QUITOSANO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Giraldo9/publication/277302110_PROPIEDADES_OBTENCION_CARACTERIZACION_Y_APLICACIONES_DEL_QUITOSANO/links/55660fd208aecc777359e7f/PROPIEDADES-OBTENCION-CARACTERIZACION-Y-APLICACIONES-DEL-QUITOSANO.pdf)
- [9] TradeMap. (2018). Trade statistics for international business development. Agosto 13, 2018, de TradeMap Sitio web: <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- [10] Cabarcas, M. Marimon, W. Miranda, M. (2011). Diseño de un proceso económico y competitivo para la extracción de quitina y producción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. Agosto 13, 2018, de Universidad de Cartagena Sitio web: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/132/1/TRB>
- [11] Tecnología del Plástico. (2014). Salvador Ortega, presidente del área de bioplásticos de ANIPAC, habla sobre el desarrollo del sector. Agosto 20, 2018, de Tecnología del Plástico Sitio web: <http://www.plastico.com/temas/Salvador-Ortega-presidente-del-area-de-bioplasticos-de-ANIPAC,-habla-sobre-el-desarrollo-del-sector+98618>
- [12] Rojas, M. (01/04/2018). Los biopolímeros como materiales para el desarrollo de productos en aplicaciones farmacéuticas y de uso
- [13] Valero F. (2013). BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS.18/03/2017, de Scielo Sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>
- [14] Montalvo P., (2009). Aplicaciones Farmacéuticas del Quitosano. 29/05/2018, de Universidad Nacional de Ingeniería Sitio web: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4098/1/montalvo\\_ap.p](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4098/1/montalvo_ap.p)