

Utilización de quitosano (*Litopenaeus vannamei*) y almidón (*Zea mays*) como coagulante en aguas residuales domésticas

Luis Guevara-Vinza¹; Gabriela Andrade-Dicao²;
Jaime Naranjo-Moran^{3*}; Diego Muñoz-Naranjo⁴

Resumen

Los establecimientos gastronómicos generan grandes volúmenes de aguas residuales contaminadas con aceites y grasas vegetales, afectando al ambiente y la salud pública. Se evaluó el potencial coagulante del quitosano obtenido de exoesqueleto de camarón *Litopenaeus vannamei* y almidón de maíz *Zea mays* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El quitosano se obtuvo mediante desproteínización, desmineralización y desacetilización del exoesqueleto, alcanzando un grado de desacetilación superior al 80%. Se aplicaron tres tratamientos con diferentes concentraciones de biocoagulantes en dosis de 0,5 g, con tres réplicas cada uno. El tratamiento 2, compuesto por 0,3 g de almidón de maíz y 0,2 g de quitosano, demostró la mayor eficiencia estadística ($F=70,11$; $p\text{-valor}=0,0001$). Este tratamiento logró una reducción del 92,6% en aceites y grasas, 44,2% en DQO y 57% en turbidez. Los biocoagulantes evaluados permitieron la remoción efectiva de contaminantes mediante procesos de coagulación, floculación y filtración, demostrando su potencial como alternativas económicas y ambientalmente sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas con alto contenido de lípidos.

Palabras clave: almidón de maíz; biocoagulantes; quitosano; turbidez; tratamiento de aguas.

Use of chitosan (*Litopenaeus vannamei*) and starch (*Zea mays*) as a coagulant in domestic wastewater

Abstract

Food service establishments generate large volumes of wastewater contaminated with vegetable oils and fats, harming the environment and public health. The coagulation potential of chitosan obtained from the shrimp exoskeleton of *Litopenaeus vannamei* and corn starch from *Zea mays* was evaluated for the treatment of domestic wastewater. Chitosan was obtained through deproteinization, demineralization, and deacetylation of the exoskeleton, achieving a degree of deacetylation greater than 80%. Three treatments with different biocoagulant concentrations were applied at a total dose of 0.5 g, with three replicates each. Treatment 2, consisting of 0.3 g of corn starch and 0.2 g of chitosan, showed the highest statistical efficiency ($F=70.11$; $p\text{-value}=0.0001$). This treatment achieved a reduction of 92.6% in oils and fats, 44.2% in COD, and 57% in turbidity. The evaluated biocoagulants enabled the effective removal of contaminants through coagulation, flocculation, and filtration processes, demonstrating their potential as cost-effective and environmentally sustainable alternatives for the treatment of domestic wastewater with high lipid content.

Keywords: corn starch; biocoagulants; chitosan; turbidity; water treatment.

Recibido: 07 de diciembre 2025

Aceptado: 07 de abril 2026

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Campus María Auxiliadora, kilómetro 19.5 Vía a La Costa, CP 090901. Guayaquil, Ecuador; lguevara@ups.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0006-4073-8626>

² Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Campus María Auxiliadora, kilómetro 19.5 Vía a La Costa, CP 090901. Guayaquil, Ecuador; gandrade@ups.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-1147-7811>

³ Universidad Politécnica Salesiana, Grupo de Investigación en Aplicaciones Biotecnológicas (GIAB); Carrera de Biotecnología, Campus María Auxiliadora, kilómetro 19.5 Vía a La Costa, CP 090901. Guayaquil, Ecuador; jnaranjo@ups.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-4410-9337>

⁴ Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, 59304, Av. 25 de Julio y Pio Jaramillo, Guayaquil, Ecuador; dmunoz@uagraria.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-2203-0588>

*Autor de correspondencia

I. INTRODUCCIÓN

El agua dulce representa el 2,5% del total de agua existente en el planeta y es apta para consumo humano (Rudel Olmos *et al.*, 2003). En aguas residuales domésticas, el contenido de grasas y aceites oscila entre 30 a 50mg/L, constituyendo acerca del 20% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Dado este contexto, los desechos aceitosos representan uno de los principales desafíos no solo en la industria petrolera y petroquímica, sino también en la producción alimentaria, cosmética y farmacéutica (Okada & Peterson, 2000).

En las aguas residuales de restaurantes, las concentraciones típicas de grasas y aceites van desde 1,000 hasta 2,000mg/L o más, procedentes de alimentos como mantequilla, aceites vegetales, carnes y manteca, entre otros (Elias, 2006). El incremento de establecimientos que preparan alimentos con aceites para freír, grasas, mantecas, mantequillas y margarinas ha generado un aumento en las descargas de aguas residuales con alto contenido de grasas y aceites (Llangova, 2015).

En Ecuador, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos indica que el 54,36% de los hogares arrojan el aceite usado con el resto de la basura, el 23,65% lo queman, entierran, botan a quebradas o fuentes de agua, mientras que el 21,36% lo guardan, venden o usan como alimento para animales (INEC, 2016). Según el Listado Nacional de Desechos Peligrosos y Especiales establecido en el Suplemento del Registro Oficial N° 856, emitido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, el aceite vegetal residual es considerado como un desecho especial que, sin ser peligroso, por su naturaleza puede impactar el entorno ambiental y la salud, debido al volumen que se genera y por su difícil degradación (MAE, 2012).

En la actualidad, existe una creciente contaminación de los cuerpos de agua, causada por el desarrollo industrial, factor que produce grandes volúmenes de contaminantes, esto afecta la disponibilidad de agua apta para el consumo (Albarracín, 2015; Calles, 2012; Calles *et al.*, 2009). Por otra parte, innovaciones industriales ya utilizan películas bioplásticas sostenibles elaboradas con almidón derivado de *Zea mays*, *Colocasia*

esculenta y *quitosano*, estas son reconocidas por sus propiedades antibacterianas, antioxidantes, resistencia a la humedad y al bloqueo de rayos UV (Dang *et al.*, 2025; Deng *et al.*, 2024; Kour *et al.*, 2025). El presente trabajo de investigación pretende promover el desarrollo de soluciones prácticas, económicas y amigables para el ambiente en la descontaminación de aguas residuales, mediante el uso del quitosano y el almidón de maíz, aprovechando sus propiedades similares que permitan lograr efectos de biocoagulación de materiales lípidos de consistencia líquida o sólida.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental, se realizó la aplicación del quitosano y el almidón de maíz como biocoagulantes. Se caracterizó la calidad del agua residual proveniente antes y después del tratamiento primario (trampa de grasa); luego, el agua pasó a un tratamiento de coagulación utilizando el test de jarras (Guzmán Sánchez *et al.* 2025), lo cual permitió evaluar la cantidad y porcentaje de eficiencia de la dosis óptima para un adecuado tratamiento del agua contaminada. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y tres réplicas por tratamiento (n=9 unidades experimentales), sin considerar otros factores de interés. Las pruebas realizadas en el laboratorio se ejecutaron al azar, de forma que los posibles efectos ambientales y temporales se distribuyeran de manera homogénea entre los tratamientos.

Variables

Como variables independientes se incluyeron: materia orgánica (DQO mg/L), volumen extraído de aceites y grasas (GyA Volumen/L), concentración y dosis del quitosano y almidón de maíz (mg). Como variable dependiente: porcentaje de eficiencia de la dosis óptima conjunta en el tratamiento del agua.

Preparación de biocoagulantes

El quitosano se preparó en forma de polvo molido. El almidón de maíz se preparó con la misma estructura física que el quitosano para utilizarlos en las muestras.

Tratamientos aplicados.

Se realizaron tres tratamientos con tres réplicas cada uno, aplicando 0,5g totales de biocoagulantes con diferentes proporciones:

- Tratamiento 1: 0,25g de quitosano + 0,25g de almidón de maíz
- Tratamiento 2: 0,2g de quitosano + 0,3g de almidón de maíz
- Tratamiento 3: 0,3g de quitosano + 0,2g de almidón de maíz

Obtención del quitosano

Se utilizó el procedimiento descrito por

Ricardo Starbird (2011) y Hernández *et al.* (2009), modificado en algunas fases: lavado y secado, desmineralización, desproteínización y desacetilación. Para el proceso de desacetilación, mediante el cual la quitina es convertida en quitosano, se pesó una cantidad de quitina y se vertió en una solución de NaOH al 50% en una relación 1:4 sólido-líquido, bajo las siguientes condiciones: primero por 2 horas a 60°C y luego por 2 horas a 100°C (Figura 1). El quitosano posee un peso molecular comprendido en el intervalo de $2,30$ y $2,80 \times 10^{-1}$ g/mol (de Queiroz Antonino *et al.*, 2017).

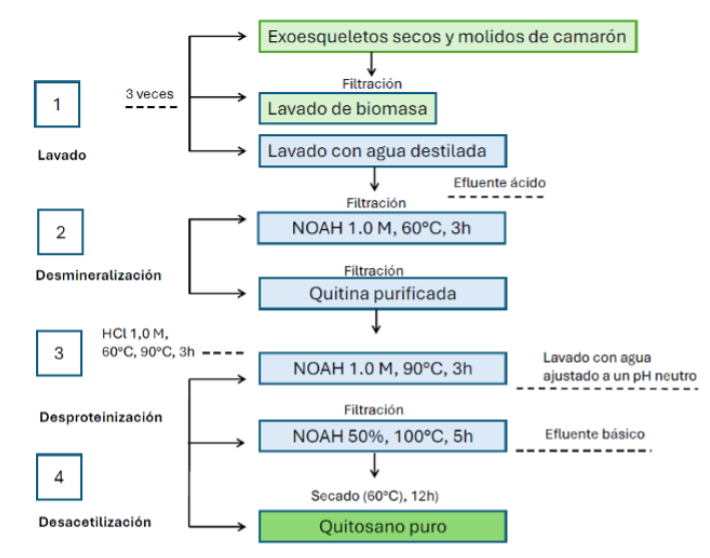


Figura 1. Proceso de obtención de quitosano a partir de camarón (*Litopenaeus vannamei*).

Caracterización del agua residual

Para este objetivo se tomaron 4 litros de agua residual doméstica de una trampa de grasa, del nivel 1, donde aún no es sometida al tratamiento primario. Cada muestra se consideró representativa del lugar. Las muestras fueron llevadas a dos laboratorios: IPSOMARY S.A. (laboratorio acreditado) y el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Agraria, para su caracterización inicial.

Análisis de la dosis óptima. Se realizaron tres muestras y un testigo. Tomando los 4L de la muestra representativa recolectada, se colocaron en matraces de 500mL, añadiendo las dosis correspondientes de biocoagulantes según cada tratamiento. Mediante agitación manual durante 2 minutos se removió la solución y se dejó reposar

durante 1 hora. Al pasar este tiempo se evidenció la formación de flocúlos y sedimentos en cada una de las muestras tratadas. Después se procedió a realizar una caracterización final de pH, turbidez y sólidos disueltos totales.

Análisis estadístico

Se emplearon técnicas estadísticas de análisis descriptivo (media, varianza y desviación estándar). Los datos obtenidos fueron tabulados para elaborar cuadros y gráficos para el análisis estadístico descriptivo. Se aplicó análisis estadístico inferencial mediante prueba de hipótesis con respecto a los parámetros establecidos de pH, turbidez y sólidos disueltos totales. En el análisis estadístico se aplicó ANOVA y la prueba de Tukey, que permiten comparar los efectos de dos fuentes

de variación, evaluando uno o más factores al diferenciar las medias de las variables dependientes en los diversos niveles de los factores con relación al porcentaje en el tratamiento.

III. RESULTADOS

Caracterización inicial del agua residual

El cuadro 1 presenta los resultados de la

caracterización inicial del agua residual doméstica realizada en el laboratorio acreditado IPSOMARY S.A. Los valores iniciales de aceites y grasas fueron de 1,630 mg/L, la DQO alcanzó 2,750mg/L y el pH fue de 5,82, lo que indica una alta carga contaminante proveniente de las actividades del restaurante.

Tabla 1. Parámetros de caracterización inicial y final de aguas residuales domésticas.

Parámetro	Unidad	Valor inicial	Valores finales	Reducción (%)
Aceites y grasas	mg/L	1,630	121	92,6
DQO	mg/L	2,750	1,535	44,2
pH		5,82	6,45	-
Turbidez	NTU	348	149	57
Sólidos disueltos totales	mg/L	1,450	899	38
pH	-	5,9	6,38	-

La caracterización realizada en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Agraria mostró valores iniciales de turbidez de 348 NTU, sólidos disueltos totales de 1,450mg/L y pH de 5,90. Estos resultados confirman que el agua se encontraba

contaminada por un gran volumen de aceites, grasas y materia orgánica en descomposición, debido a que el restaurante arroja los residuos al fregadero durante el lavado de platos (Figura 2).

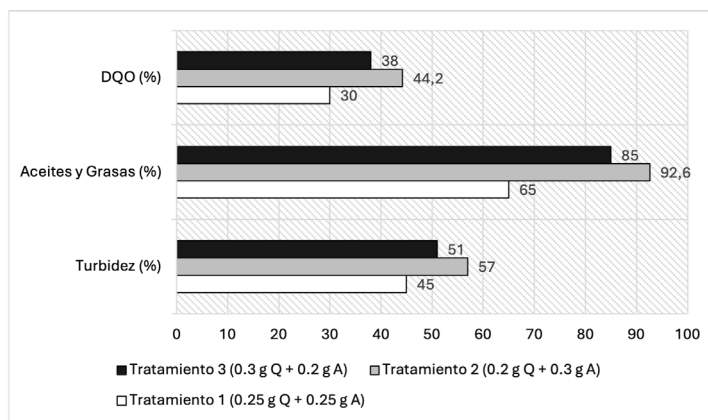


Figura 2. Aguas domésticas tratadas con el coagulante de quitosano y almidón de maíz

Análisis de la dosis óptima de biocoagulantes. De acuerdo con el análisis de variancia (ANOVA) y el Test de Tukey, se evidenció que el tratamiento 2 es más efectivo que los otros, con un valor $F=70,11$ y $p\text{-valor}=0,0001$. Debido a que el nivel de significancia es menor a 0,05, se acepta la hipótesis alternativa (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

El tratamiento 2, compuesto por 0,3g de almidón de maíz y 0,2g de quitosano, demostró ser la dosis más efectiva para la reducción de turbidez,

logrando un porcentaje de remoción promedio del 57%. Este resultado se atribuye a la capacidad del almidón de maíz para formar puentes entre las partículas coloidales, mientras que el quitosano actúa desestabilizando las cargas de la materia orgánica en suspensión.

Comparación de resultados iniciales y finales. Los resultados finales obtenidos en el laboratorio acreditado IPSOMARY S.A., una vez aplicada la dosis óptima de biocoagulantes. Se evidenció una reducción del 92,6% en aceites y

grasas (de 1,630mg/L a 121mg/L) y del 44,2% en DQO (de 2,750mg/L a 1,535mg/L). Esta considerable reducción se debe a que al aplicar los biocoagulantes se logró la coagulación y floculación de los contaminantes, los cuales fueron removidos mediante filtración con toallas absorbentes.

En turbidez, se observó una reducción promedio del 57% en el resultado final, lo cual se debe a que se consiguió desestabilizar las cargas de la materia orgánica en suspensión y se formaron pequeños flóculos sedimentables. En cuanto a los sólidos disueltos totales, casi todas las dosis resultaron efectivas, como indicó el análisis estadístico.

IV. DISCUSIÓN

El método de Hernández *et al.* (2009), aunque con algunos ajustes, demostró ser eficaz para la elaboración del quitosano con un grado de desacetilación mayor al 80%. Sin embargo, se encontró que el uso de ácidos y bases en solución para la desmineralización y desproteínización no logra la obtención de quitosano con altos grados de pureza, mientras no se asegure un proceso de desacetilación cuidadoso, por otra parte, el grado de desacetilación bacteriana que alcanza ronda el 74,9% (Rakshit, *et al.*, 2023), lo que permite entender las propiedades de mucoadhesividad y unión a las moléculas de colesterol.

Los resultados obtenidos demuestran que la combinación de quitosano y almidón de maíz como biocoagulantes representa una alternativa viable, económica y sostenible con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas con alto contenido de grasas y aceites. La efectividad del tratamiento se debe a la sinergia entre ambos biocoagulantes: el quitosano, por su naturaleza policatiónica, neutraliza las cargas negativas de las partículas coloidales presentes en el agua, mientras que el almidón de maíz facilita la formación de flóculos de mayor tamaño y densidad, promoviendo una mejor sedimentación. Los prometedores resultados de este estudio abren un amplio abanico de oportunidades para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos. Es imperativo avanzar hacia la optimización del proceso de producción mediante métodos biotecnológicos, como la desacetilación enzimática del quitosano (Harmsen, *et al.*, 2019), y validar su rendimiento técnico-

económico a través de un escalamiento a nivel piloto e industrial, lo que abre una oportunidad biotecnológica (Bonin *et al.*, 2020). Se recomienda explorar sinergias con otros biocoagulantes nativos, como los extraídos de moringa o nopal, y expandir su aplicación a efluentes de industrias clave como la láctea o la pesquera. Para una comprensión más profunda de los mecanismos de acción, será crucial realizar una caracterización físico-química avanzada mediante técnicas como FTIR (Okwuenu *et al.*, 2025) y SEM (Soygun *et al.*, 2020), complementada con un análisis de ciclo de vida que cuantifique su sostenibilidad integral (Piekarska *et al.*, 2023). Se debe caracterizar nuevas quitinas desacetilasas como la que se activa en frío para la producción ecológica de quitosano bioactivo a partir de *Shewanella psychrophila* WP2 (SpsCDA) se sobreexpresó en *Escherichia coli* BL21 (Abd El-Ghany *et al.*, 2025) Seguido de la modificación química de los polímeros que podría mejorar su efectividad, mientras que la investigación sobre la recuperación, reutilización del coagulante y la valorización de los lodos generados (para compostaje o biogás) fortalecería su perfil de economía circular (Romal *et al.*, 2025). Finalmente, estos esfuerzos deberían culminar en la propuesta de una normativa técnica nacional que estandarice el uso de biocoagulantes, facilitando así su transferencia tecnológica y adopción a gran escala.

V. CONCLUSIONES

En síntesis, la investigación valida de manera concluyente la viabilidad técnica del sistema binario quitosano (*L. vannamei*) / almidón (*Z. mays*) como una estrategia de tratamiento robusta y sostenible. La interacción sinérgica entre ambos biopolímeros demostró una eficiencia estadística superior ($F=70.11$; $p<0.0001$), alcanzando remociones críticas del 92,6% en aceites y grasas y 57% en turbidez. Este rendimiento se sustenta en un mecanismo físico-químico acoplado, donde el comportamiento policatiónico del quitosano desestabiliza las cargas coloidales, mientras que la matriz reticular del almidón maximiza la formación de flóculos densos mediante puenteo polimérico. Desde una perspectiva de economía circular, esta formulación no solo ofrece una

alternativa competitiva frente a los coagulantes inorgánicos convencionales, sino que materializa la revalorización de subproductos agroindustriales masivos, mitigando a la vez el impacto de los vertidos domésticos y la gestión de residuos sólidos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Ghany, M. N., Hamdi, S. A., Zahran, A. K., Abou-Taleb, M. A., Heikel, A. M., Abou El-Kheir, M. T., Farahat, M. G. (2025). Characterization of novel cold-active chitin deacetylase for green production of bioactive chitosan. *AMB Express*, 15(1):5. <https://doi.org/10.1186/s13568-024-01804-2>

Albarracín, P. (2015). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: Un caso de estudio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 31(3):295-304.

Bonin, M., Sreekumar, S., Cord-Landwehr, S., Moerschbacher, B. M. (2020). Preparation of Defined Chitosan Oligosaccharides Using Chitin Deacetylases. *International journal of molecular sciences*, 21(21), 7835. <https://doi.org/10.3390/ijms21217835>

Calles, C., Águila, A., Flores, A., Viveros, N., Ramos, C. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío*. 22(1):57-60.

Calles, J. (2012). El agua en el Ecuador. Disponible en: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2012/04/la-contaminacion-del-aguaen-ecuador.html>

Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC. (2016). Documento técnico. Información Ambiental en Hogares 2016. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2016/Documento%20tecnico.pdf

Dang, X., Han, S., Wang, X. (2025). Versatile corn

starch-based sustainable food packaging with enhanced antimicrobial activity and preservative properties. *Journal of colloid and interface science*, 694, 137698. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2025.137698>

De Queiroz Antonino, R. S. C. M., Lia Fook, B. R. P., De Oliveira Lima, V. A., De Farias Rached, R. Í., Lima, E. P. N., Da Silva Lima, R. J., Peniche Covas, C. A., Lia Fook, M. V. (2017). Preparation and Characterization of Chitosan Obtained from Shells of Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Marine drugs*, 15(5):141. <https://doi.org/10.3390/md15050141>

Deng, B., Gu, J., Zhang, S., Huang, J.; Zhang, X., Zhou, J., Wang, W., Fan, B., Liu, J., Li, L., Su, M., Li, B. (2024). Low-Cytotoxicity, Broad-Spectrum Corn Starch-Based Antibacterial Particles that Inhibit Multidrug-Resistant Bacteria. *ACS applied bio materials*, 7(1):256-268. <https://doi.org/10.1021/acsabm.3c00848>

Elias, X. (2006). Reciclaje de residuos industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 686p.

Guzmán Sánchez, A. F., Huertas Daza, E. D., Y Jaimes Galvis, D. C. (2025). Diagnóstico y propuesta de optimización hidráulica técnico-ambiental para la planta de tratamiento de agua potable del sector 46 de la vereda Mancilla en el municipio de Facatativá, Cundinamarca. *Luna Azul*, (59), 195-219. <https://doi.org/10.17151/luaz.2024.59.10>

Harmsen, R. A. G., Tuveng, T. R., Antonsen, S. G., Eijnsink, V. G. H., Sørli, M. (2019). Can we make Chitosan by Enzymatic Deacetylation of Chitin?. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(21):3862. <https://doi.org/10.3390/molecules24213862>

Kour, M., Chaudhary, S., Kumar, R. (2025). Divulging the contrasting potential of sustainable starch based bioplastic films derived from *Zea mays* and *Colocasia* esculenta incorporated with chitosan and CQDs: detailed characterization and efficient role in lychee fruit packaging. *International journal of biological macromolecules*, 309(Pt 2), 142996. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142996>

- Ministerio del Ambiente del Ecuador, MAE. (2012). Listado Nacional de Desechos Peligrosos y Especiales. Registro Oficial N° 856. Quito, Ecuador.
- Okada, M. y Peterson, S.A. (2000). Water pollution control policy and management. The Japanese experience. GYOSEI. Tokyo, Japan. 4p.
- Okwuenu, P. C., Onosakponome, I., Oparaji, E. H., Isoje, A. O. (2025). Characterization of chitin and chitosan from shells of water snail (*Pila ampullacea*) using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *International journal of biological macromolecules*, 333(Pt 2), 149012. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.149012>
- Piekarska, K., Sikora, M., Owczarek, M., Józwił-Pruska, J., Wiśniewska-Wrona, M. (2023). Chitin and Chitosan as Polymers of the Future-Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application. *Polymers*, 15(4):793. <https://doi.org/10.3390/polym15040793>
- Rakshit, S., Pal, K., Mondal, S., Jana, A., Mondal, K. C., Halder, S. K. (2023). Extraction of chitosan from biologically-derived chitin by bacterial chitin deacetylase: Process optimization and product quality assessment. *International journal of biological macromolecules*, 244, 125389. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125389>
- Ricardo Starbird, P. (2011). Obtención de quitosano a partir de desechos de camarón. *Tecnología en Marcha*. 24(3):21-30.
- Romal, J. R. A., Cheng, M. H., Ong, S. K. (2025). The recovery of dysprosium(III) using a modified phosphorylated chitosan resin by rapid small-scale column testing and its environmental impact assessment. *Journal of environmental management*, 380:125117. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125117>
- Rudel Olmos, P., Colaboradores. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Editorial Plaza y Valdés S.A. de C.V. México. p.24-25.
- Soygun, K., Soygun, A., Dogan, M. C. (2020). The effect of gastric acid on chitosan modified glass ionomer cement: SEM-EDS. *Microscopy research and technique*, 83(1):3-9. <https://doi.org/10.1002/jemt.23382>