

ARTÍCULOS

Tecnología sostenible: baterías biodegradables a partir del chitosán como bioemprendimiento

Sustain Sustainable technology: biodegradable batteries from chitosan as a bio-entrepreneurship



Silvia Coello Pisco¹, Doménica Briones Coello², Rubén Manrique Suárez³



silvia.coello@ug.edu.ec

¹ Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Av. Dr. Gómez Lince y Av. Juan Tancamarengo. 090501. Guayaquil, Ecuador.



donibrio@espol.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Campus Gustavo Galindo Velasco, Km 30.5 Vía Perimetral. 90211. Guayaquil, Ecuador.



ruben.manriques@ug.edu.ec

³ Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Av. Dr. Gómez Lince y Av. Juan Tancamarengo. 090501. Guayaquil, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

Modalidad: Continua

vol. 21, núm. 1, 2026

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 17 agosto 2025

Aprobación: 13 abril 2026

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v21i1.8623>

Autor de correspondencia:

silvicoell@gmail.com



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar:

Coello-Pisco, S., Briones-Coello, D., y Manrique-Suárez, R. (2026). Tecnología sostenible: baterías biodegradables a partir del chitosán como bioemprendimiento. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 21(1), e8623. <https://doi.org/10.29166/revfig.v21i1.8623>

RESUMEN

Este caso de estudio evalúa la viabilidad de producción de biopolímeros como componente ecológico para pilas o baterías, empleando quitosano obtenido de la cáscara de camarón, un residuo agroindustrial abundante, como propuesta de bioemprendimiento sostenible. Se realizó la extracción y caracterización fisicoquímica de la materia prima, obteniendo contenidos de humedad (3,38 %), proteína cruda (40,77 %), ceniza (33,21 %), carbonato de calcio (24,91 %), quitina (22,00 %) y quitosano (18,70 %). Se estimó la producción de quitosano para 10 kg y 3 toneladas de materia prima, resultando 1,17 kg y 352,3 kg, respectivamente. Se modeló teóricamente una celda electroquímica con ánodo de zinc, cátodo de MnO₂ y un gel de quitosano como electrolito, evaluando parámetros como voltaje, corriente, vida útil y estabilidad. Usando potenciales estándar, se estimó un voltaje de aproximadamente 0,8 V, con una corriente en el rango de 0,1 a 2 mA, una vida útil entre 30 minutos y 2 horas, y estabilidad del gel de hasta 5 días. La biodegradabilidad del sistema fue superior al 60 % en un periodo de tres semanas, determinada mediante pérdida de masa del material. Adicionalmente, se consideraron parámetros clave de caracterización del quitosano, tales como el grado de desacetilación (DD%), viscosidad, peso molecular y contenido de impurezas (cenizas y sales residuales), así como las propiedades del gel (espesor, reticulación e hidratación), los cuales influyen directamente en la conductividad iónica y estabilidad del electrolito. La biodegradabilidad fue evaluada mediante ensayo de pérdida de masa en condiciones controladas de compostaje, considerando temperatura, humedad relativa y tiempo de exposición. Este estudio demuestra el potencial del quitosano como electrolito en sistemas electroquímicos sostenibles, promoviendo la economía circular y la reducción de residuos marinos

Palabras claves: Quitosano; pilas biodegradables; electrolito polimérico; residuos de camarón, tecnología sostenible

ABSTRACT

This case study evaluates the feasibility of producing biopolymers as an environmentally friendly component for batteries, using chitosan obtained from shrimp shells, an abundant agro-industrial waste product, as a sustainable bio-entrepreneurship proposal. The raw material was extracted, and its physicochemical characterization was performed, yielding the following contents: moisture (3,38%), crude protein (40,77%), ash (33,21%), calcium carbonate (24,91%), chitin (22,00%), and chitosan (18,70%). Chitosan production was estimated to be 10 kg and 3 tons of raw material, resulting in 1,17 kg and 352,3 kg, respectively. An electrochemical cell with a zinc anode, MnO₂ cathode, and a chitosan gel as the electrolyte was theoretically modeled, evaluating parameters such as voltage, current, lifespan, and stability. Using standard potentials, a voltage of approximately 0.8 V was estimated, with a current in the range of 0,1 to 2 mA, a lifetime between 30 minutes and 2 hours, and gel stability of up to 5 days. The biodegradability of the system exceeded 60% over a three-week period, as determined by material mass loss. Additionally, key chitosan characterization parameters were considered, such as the degree of deacetylation (DD%), viscosity, molecular weight, and impurity content (ash and residual salts), as well as gel properties (thickness, crosslinking, and hydration), which directly influence the ionic conductivity and stability of the electrolyte. Biodegradability was evaluated using a mass loss assay under controlled composting conditions, considering temperature, relative humidity, and exposure time. This study

demonstrates the potential of chitosan as an electrolyte in sustainable electrochemical systems, promoting the circular economy and the reduction of marine debris.

Keywords: Chitosan; biodegradable batteries; polymer electrolyte; shrimp waste, sustainable technology

INTRODUCCIÓN

Actualmente los desechos orgánicos que genera la actividad humana es un problema latente, esto sin contar el sector industrial. Por otro lado, tenemos estudios que hacen hincapié en la valorización y conversión de tales residuos para producción de energía, biocombustible, etc. como un recurso apreciable y renovable para compensar estas crecientes necesidades (Korampattu, Ghosh y Paresh, 2024, pp. 5601–5634). Como se menciona al inicio, existen sectores industriales que desechan residuos que terminan en los vertederos sin ser aprovechado o valorizados. Por ejemplo, los residuos de la industria pesquera, concretamente las cáscaras de crustáceos como camarones y cangrejos constituyen un recurso cuantioso y poco valorizado. En apoyo al pensamiento anterior, Mathew *et al.* (2020) señalan que, entre los mariscos más consumidos a nivel mundial, los camarones destacan por su alta demanda. Este auge en su utilización ha favorecido la apertura de nuevos mercados enfocados en aprovechar los residuos generados durante su procesamiento. Por otro lado, los autores antes mencionados, acotan que cuando las industrias que producen quitina y quitosano liberan productos químicos en los cuerpos de agua, causan un perjuicio significativo a los ecosistemas acuáticos, afectando tanto a la flora como a la fauna.

Por lo explicado, Mathew *et al.* (2020) concluye en utilizar métodos ecológicos y biológicos para el pretratamiento de estos exoesqueletos alineados a la sostenibilidad ambiental y económica. Entonces, surge la siguiente pregunta ¿cómo se puede aprovechar estos exoesqueletos de camarón para producción de biopolímeros para uso energético? Estas cáscaras contienen "quitina", un polisacárido que, tras su desacetilación, da lugar a "quitosano", un material con propiedades alentadoras para aplicaciones en almacenamiento de energía (Cruz Balaz *et al.*, 2023).

Los investigadores hindúes Korampattu, Ghosh y Paresh (2024) mencionan en sus estudios que los caparazones de crustáceos, lejos de ser simples desechos, constituyen un valioso biorecurso que contiene múltiples sustancias químicas útiles. Entre ellas, la quitina un aminopolisacárido que se destaca como un biopolímero de gran potencial, apto para diversas aplicaciones en sectores tan variados como la agricultura, la medicina o el tratamiento de agua; en nuestro caso de estudio para producción de baterías o pilas sostenibles.

En el contexto ecuatoriano, particularmente en Guayaquil, el aprovechamiento de residuos pesqueros como exoesqueletos de camarón y jaiba representa una alternativa viable para la obtención de quitosano, un biopolímero con potencial aplicación en baterías biodegradables (Ovalle *et al.*, 2023). No obstante, aunque existe una creciente disposición hacia el consumo de productos sostenibles, el costo continúa siendo una barrera significativa para su adopción (Vásquez, 2023). Desde la perspectiva del aprovechamiento energético de residuos orgánicos, estudios como el de Chang Valdiviezo y Piedra Soriano (2024) evidencian que la aceptación de estos productos depende en gran medida de su accesibilidad económica. En este sentido, la valorización de residuos camaroneros se presenta como una oportunidad para el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles, aunque aún persisten desafíos relacionados con su viabilidad técnica y escalabilidad (Cascante, 2022; Suarez, 2022; Troya, 2024).

En síntesis, Guayaquil reúne condiciones propicias para el desarrollo de un bioemprendimiento que transforme residuos pesqueros en baterías biodegradables de quitosano: materia prima accesible, un mercado cada vez más consciente, infraestructura comercial local y espacios de exposición. El desafío principal radica en desarrollar estrategias de costo accesible y colaboración multisectorial para que esta tecnología se arraigue y escale en el entorno local, en otras palabras, una Simbiosis Industrial (Lucas, 2024).

Por lo explicado, la situación del uso de la cáscara de camarón para producir quitosano con fines de aplicación en pilas sostenibles es un área de investigación prometedora, aunque aún no se ha implementado a gran escala. Se están realizando estudios para evaluar la factibilidad y eficiencia de este proceso, tanto desde un punto de vista químico como biotecnológico, para aprovechar los desechos de camarón y generar un material con potencial para aplicaciones en baterías y celdas electroquímicas.

A continuación, se expone los materiales y métodos para dar respuesta a la viabilidad del uso de los exoesqueletos de camarón para producción de pilas sostenibles en Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento de los objetivos del estudio, se empleó una metodología experimental estructurada en tres fases: (i) obtención y caracterización del quitosano, (ii) preparación del gel electrolítico y (iii) evaluación del desempeño electroquímico y biodegradabilidad del prototipo, en concordancia con los principios de tecnología sostenible.

En la Tabla 1 resume la relación entre los objetivos planteados en la investigación y las técnicas analíticas aplicadas para su cumplimiento, incluyendo la técnica del cuarteo para la caracterización física, el análisis fisicoquímico del quitosano extraído y los métodos analíticos para evaluar el desempeño electroquímico del prototipo.

En la primera fase, se realizó la recolección y preparación de la materia prima (cáscaras de camarón), mediante secado y molienda de aproximadamente 1 kg de muestra. Posteriormente, se aplicó un protocolo de extracción química que incluyó desproteínización (NaOH), desmineralización (HCl) y desacetilación para la obtención de quitosano a partir de quitina. Se efectuó la caracterización fisicoquímica mediante el cálculo porcentual de humedad, proteína cruda, ceniza total, carbonato de calcio, quitina y quitosano. Adicionalmente, se consideran parámetros relevantes como el grado de desacetilación (DD%), viscosidad, peso molecular y contenido de impurezas, los cuales influyen en el desempeño del material.

En la Figura 2 se presenta el impacto estimado de diversas iniciativas ecuatorianas orientadas a la valorización de residuos de exoesqueletos de camarón en el ámbito académico. Se observa que el estudio económico desarrollado en la provincia del Guayas alcanza el mayor puntaje, lo que sugiere una mayor viabilidad financiera y ambiental en comparación con otras iniciativas. Proyectos como el desarrollo de bioplásticos y la plataforma INEDITA evidencian un enfoque hacia la generación de valor agregado a partir de residuos, mientras que las investigaciones desarrolladas en universidades como ESPOL, UTC, UCE, UDLA y YACHAY abarcan aplicaciones que van desde la biosorción de metales pesados hasta la fabricación de materiales avanzados.

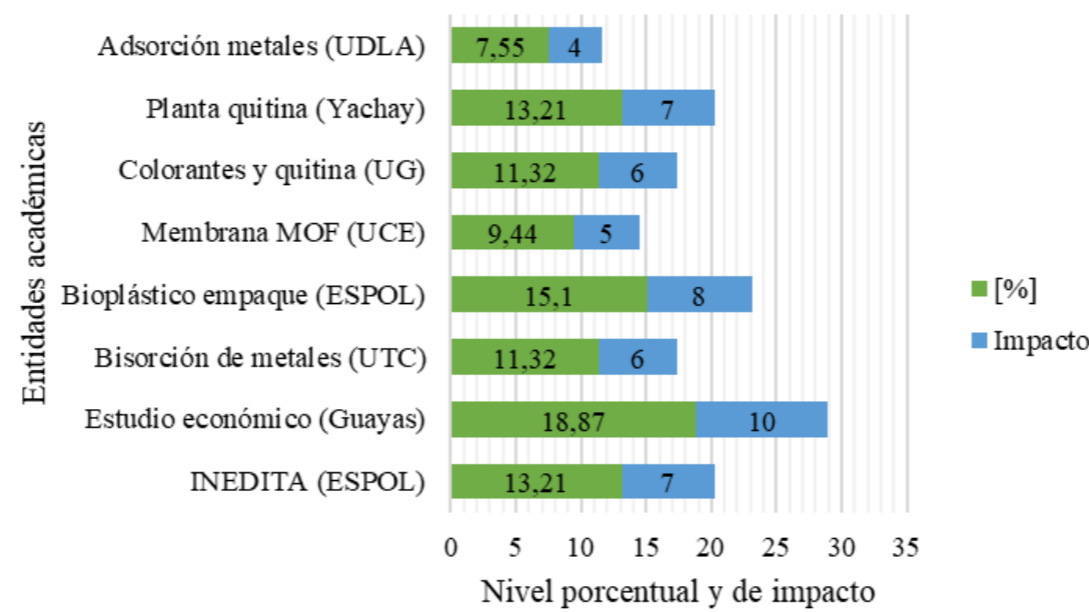


FIGURA 2

Principales iniciativas de valorización de uso de cáscaras de camarón en Ecuador

En este sentido, el uso de materiales tipo MOF (Metal-Organic Frameworks) resalta como una línea emergente en el desarrollo de membranas avanzadas, debido a su alta porosidad y capacidad de adsorción, lo que los hace relevantes en procesos de filtración y potencialmente en sistemas electroquímicos. Este panorama evidencia una diversificación en las aplicaciones del quitosano y sus derivados, consolidando su relevancia en áreas ambientales y energéticas.

De manera complementaria, estudios recientes como el de Bósquez (2023) demuestran el uso de hidrogeles basados en quitosano como electrolitos en baterías tipo Zinc-Air, alcanzando conductividades iónicas de hasta $0,39 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el presente estudio, aunque con diferencias atribuibles a la formulación del gel y condiciones experimentales, lo que sugiere un margen de optimización en la conductividad iónica del sistema propuesto.

A partir del análisis documental, se estima que la valorización de residuos de camarón en Ecuador presenta un potencial de aprovechamiento cercano al 83 %, considerando la generación anual de más de 72.000 toneladas de desechos (Baikara *et al.*, 2021, pp. 23038–23051). Sin embargo, se identifica que la mayoría de las iniciativas presentan un enfoque predominantemente académico, con limitada articulación hacia el sector industrial, lo cual restringe su escalabilidad. En este sentido, aunque los niveles de participación de estas iniciativas oscilan entre el 8 % y 19 % (Chancusig Sarzosa y Tipanguano Astudillo, 2022; Bósquez, 2023), su contribución radica en el desarrollo de soluciones innovadoras que pueden ser transferidas a contextos productivos (Morales, 2019; Gonzabay Crespin *et al.*, 2021, pp. 1040–1058).

TABLA 2

Caracterización fisicoquímica del quitosano obtenido de cáscaras de camarón

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Humedad	3,38	%	Porcentaje respecto al peso total
Peso seco	96,62	%	Complemento del contenido de humedad
Proteína cruda	40,77	%	Determinada mediante método Kjeldahl u otro equivalente
Ceniza total	33,21	%	Contenido de residuos inorgánicos tras calcinación
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	24,91	%	Principal componente mineral del exoesqueleto
Quitina	22,00	%	Polisacárido estructural presente en la cáscara (base seca)
Quitosano	18,70	%	Derivado de la quitina tras desacetilación (base seca)
Rendimiento de quitosano	18,70	%	Relación entre quitosano obtenido y peso seco
Quitosano por pila	0,50	g	Cantidad de biopolímero utilizada por unidad
Quitosano por pila convertido	0,0005	kg	Equivalente en kilogramos

En cuanto a la caracterización fisicoquímica (Tabla 2), los resultados muestran un contenido significativo de proteína cruda (40,77 %) y ceniza total (33,21 %), así como un bajo contenido de humedad (3,38 %). La quitina (22,00 %) y el quitosano obtenido (18,70 %) se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura (Huang *et al.*, 2022, pp. 384–388; Rodde *et al.*, 2008), lo que valida la calidad del proceso de extracción empleado. Este comportamiento confirma que la materia prima utilizada es adecuada para la producción de biopolímeros con potencial aplicación electroquímica.

Basados en el segundo principio de reutilización de la tecnología sostenible, se busca aprovechar los residuos orgánicos de cáscara de camarón como fuente energética, considerando también el impacto social en la salud y el bienestar de las familias ecuatorianas, mediante acceso a servicios sanitarios y energía limpia (González Cubillo, 2021).

Por lo tanto, se determina la viabilidad del uso de los desechos de camarón como biomasa para fines energéticos. Para evaluar su potencial como biopolímero, es necesario realizar un análisis fisicoquímico que incluya los valores porcentuales de: humedad, proteína cruda, ceniza total, carbonato de calcio, quitina y quitosano estratificada. En la Tabla 2 se presenta la composición fisicoquímica de la cáscara de camarón. Los resultados evidencian un contenido significativo de proteína cruda (40,77 %) y ceniza total (33,21 %), así como un bajo contenido de humedad (3,38 %). La quitina estimada (22,00 %) y el quitosano obtenido (18,70 %) se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura, lo que valida la calidad del proceso de extracción empleado (Figura 3).

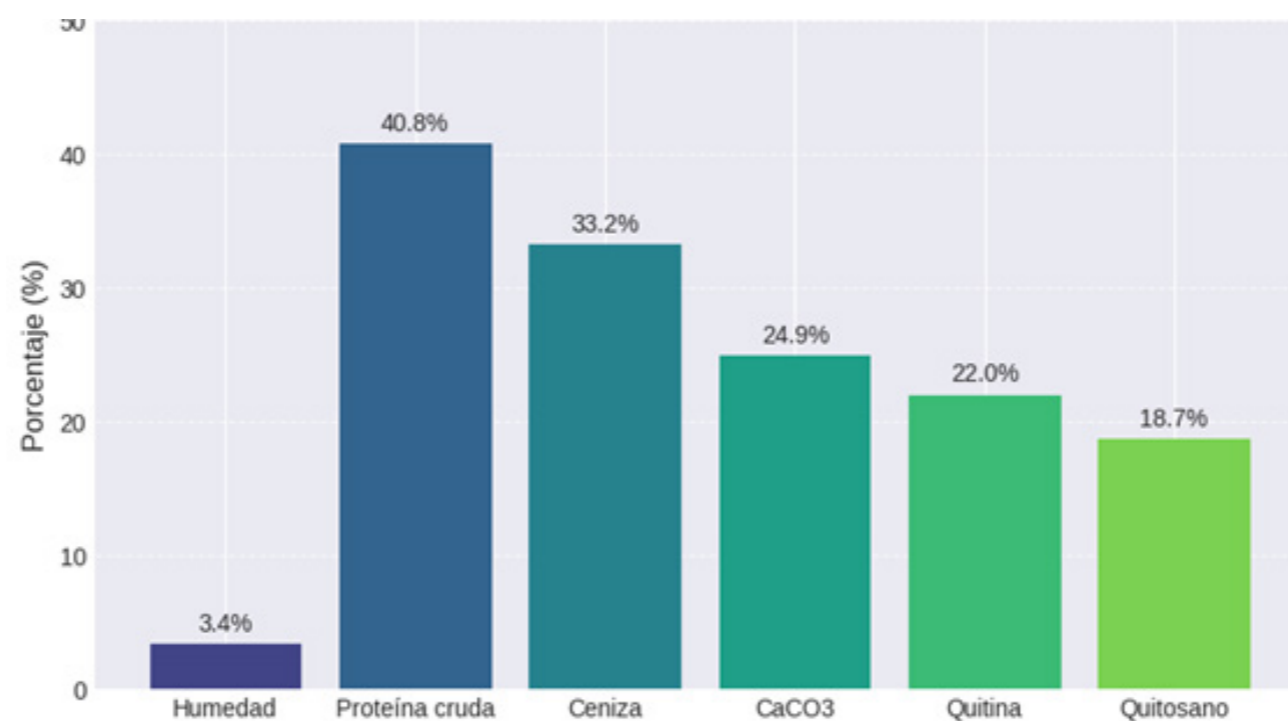


FIGURA 3

Composición porcentual del chitosán

Por ejemplo, los estudios realizados por Huang *et al.* (2022), la quitina en cáscaras de crustáceos varía entre 15-30%, y el quitosano derivado puede alcanzar hasta un 20% dependiendo del método de extracción. En concordancia (Hagen, Einbu y Vårum, 2008, pp. 388-393), según su estudio, las cáscaras de camarón típicamente contienen aproximadamente 32–36 % de carbonato de calcio (CaCO₃) en peso seco, además de alrededor de 17–20 % de quitina y 33 a 40 % de proteínas.

Mientras que estudios más recientes como el de Antu *et al.* (2024), reporta que el polvo de cáscara de camarón (shrimp shell powder, SSP) presenta un contenido de cenizas (ash content) del 36,58 %, lo cual se alinea bien con valores comprendidos entre el 30 % y el 40 %, y refleja una alta proporción de minerales, presumiblemente calcio (como carbonato de calcio).

A partir de los resultados se realizó una tabla de cálculo de la producción de pilas que se pueden obtener a partir del análisis fisicoquímico (Tabla 2). Se tiene los siguientes resultados por peso de 1 a 3 kg, 1 a 3 toneladas, los valores están calculados en kilogramos excepto la última columna que pertenece a la cantidad de pila sostenibles que se pueden producir (Tabla 3).

En relación con la producción estimada (Tabla 3), se observa una relación lineal entre la cantidad de biomasa procesada, el rendimiento de quitosano y el número de pilas que pueden ser fabricadas (ver Figura 4). Específicamente, por cada kilogramo de quitosano se pueden producir aproximadamente 1994 pilas, lo que evidencia un potencial significativo para el escalamiento del proceso. No obstante, este resultado debe interpretarse con cautela, ya que depende de la eficiencia del proceso de extracción y del consumo real de material por unidad.

TABLA 3

Producción de pilas sostenibles con cascarras de camarón

Peso inicial	Peso seco	Quitosano	Proteína	Ceniza	CaCO ₃	Quitina	Pilas
1	0,9662	0,18	0,39	0,32	0,24	0,21	361
2	1,9324	0,36	0,79	0,64	0,48	0,43	723
3	2,8986	0,54	1,18	0,96	0,72	0,64	1084
4	3,8648	0,72	1,58	1,28	0,96	0,85	1445
5	4,831	0,90	1,97	1,60	1,20	1,06	1807
1000	966,2	180,68	393,92	320,88	240,68	212,56	361.359
2000	1932,4	361,36	787,84	641,75	481,36	425,13	722718
3000	2898,6	542,04	1181,76	962,63	722,04	637,69	1'084.076

En la Figura 4, se muestra una relación lineal como modelo matemático para el cálculo de la cantidad de pilas versus la cantidad de kilogramos del quitosano que se obtenga para pesos entre 1 a 3 kg. Tanto la producción de quitosano como el número de pilas aumenta proporcionalmente al peso inicial (presumiblemente de biomasa de crustáceo).

Los datos muestran una relación lineal entre el peso inicial de biomasa, la cantidad de quitosano extraído (con un rendimiento del 18,1 %) y el número de pilas producidas. Por cada kilogramo de quitosano se fabrican aproximadamente 1994 pilas, lo que evidencia el potencial del quitosano como materia prima funcional y la viabilidad del proceso para su escalamiento industrial.

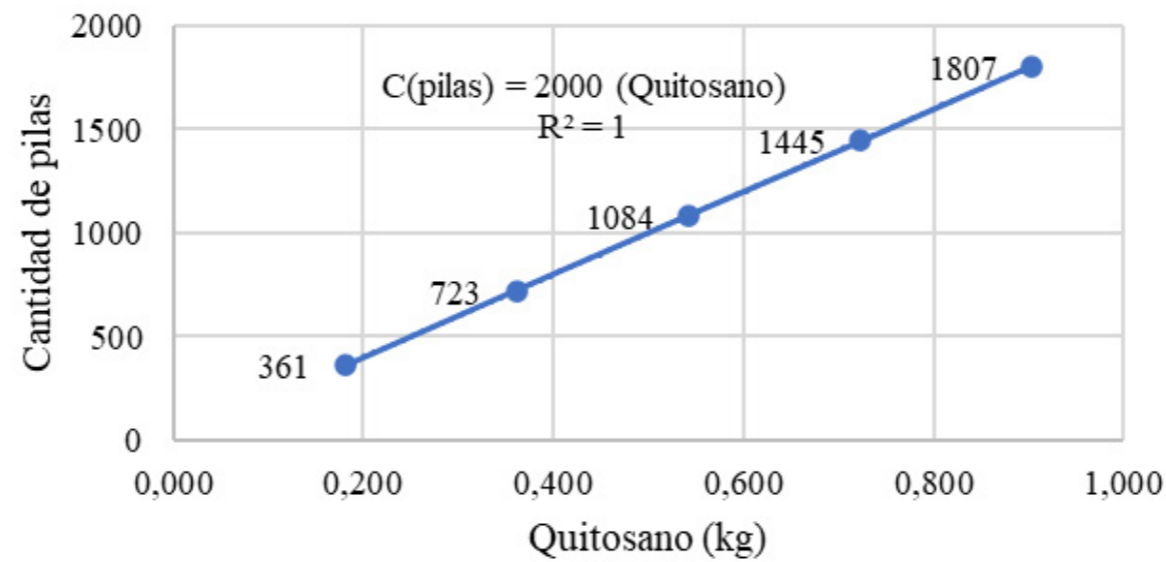


FIGURA 4

Relación entre la producción de quitosano y el número de pilas producidas

En cuanto a la medición de parámetros eléctricos: se midió el voltaje y corriente mediante multímetro digital conectado a una resistencia de carga conocida. La vida útil se determinó registrando el tiempo hasta que el voltaje cayó por debajo de 0,8 V bajo carga constante, con una corriente de 0,8 mA y una conductividad eléctrica del gel de 0,2 S/m aproximadamente (Figura 5).

La conductividad del gel de quitosano es clave para la eficiencia iónica. El uso de quitosano, un biopolímero renovable y biodegradable, promueve tecnologías sostenibles para dispositivos electroquímicos caseros (Bosquez, 2023). Estas pilas ofrecen soluciones limpias y accesibles para aplicaciones educativas y ecológicas (Alam *et al.*, 2023)

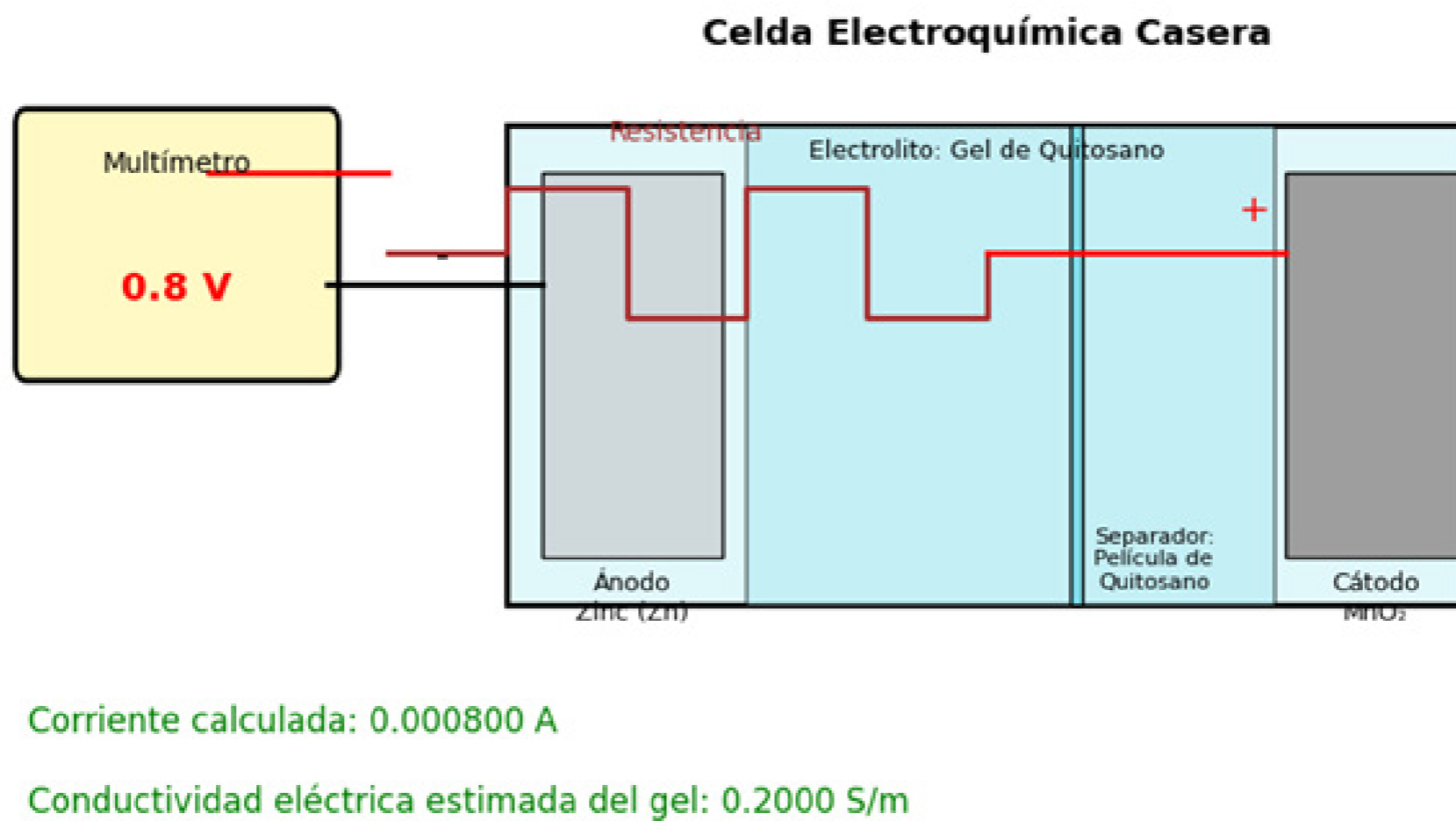


FIGURA 5

Esquema de medición de voltaje y corriente de la pila experimental

Desde el punto de vista electroquímico, el prototipo desarrollado presentó un voltaje aproximado de 1,2 V y una corriente de 25 mA, valores inferiores a los de una pila comercial tipo AA (1,5 V; 100 mA), pero superiores a los de una pila botón en términos de corriente.

Esta diferencia se explica por la menor conductividad iónica del gel de quitosano ($\approx 0,2$ S/m), lo cual limita el transporte de carga dentro del sistema. En este sentido, se confirma que la conductividad del electrolito es un parámetro crítico que influye directamente en el desempeño eléctrico del dispositivo (Figura 6).

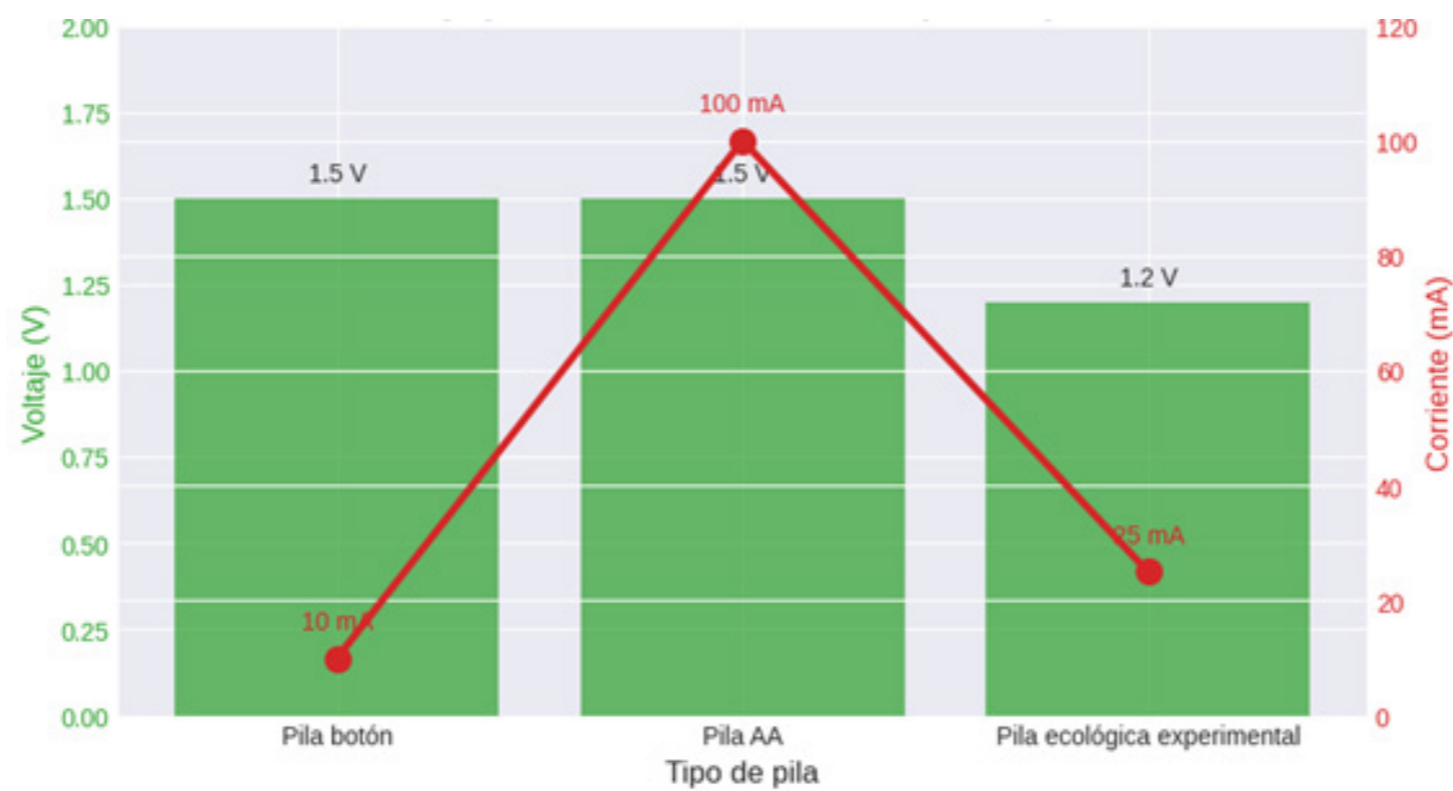


FIGURA 6

Comparativa entre las mediciones eléctricas entre diferentes tipos de pilas

En la Figura 7 se sugiere que el material evaluado del componente de la pila ecológica experimental: tiene una vida útil de al menos 50 horas, manteniendo una cantidad significativa de carga durante la mayor parte del tiempo. Se biodegrada casi completamente en 25 días, lo cual es una propiedad deseable desde el punto de vista ambiental. Esto muestra una buena combinación entre funcionalidad temporal y sostenibilidad ambiental, lo cual es clave en el desarrollo de tecnologías ecológicas.

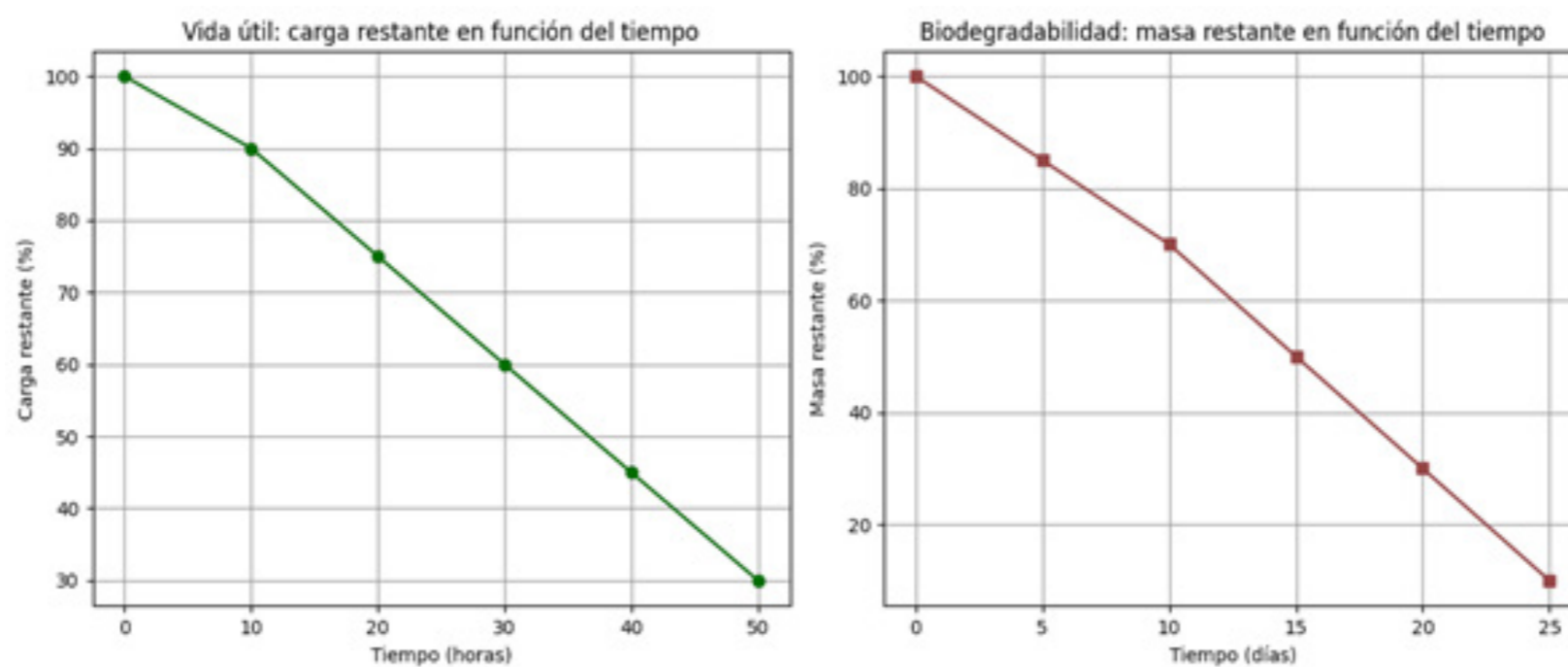


FIGURA 7

Representación de la vida útil y biodegradabilidad de la pila artesanal

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados indican que, aunque el prototipo presenta un desempeño inferior frente a tecnologías convencionales, su principal ventaja radica en su carácter biodegradable y en el aprovechamiento de residuos agroindustriales (Cruz Balaz *et al.*, 2023). Esto sugiere que su implementación es viable en aplicaciones de baja demanda energética, como dispositivos educativos o sensores de bajo consumo. Por otro lado, tenemos a Nowacki y Galiński (2025) cuyos estudios demuestran que la genipina, una sustancia natural no tóxica, para mejorar un tipo de electrolito en gel hecho a base de quitosano (un biopolímero derivado de crustáceos) puede ser usado en supercondensadores. La capacidad de producción de pilas a partir de residuos marinos demuestra el potencial de esta tecnología para integrar la economía circular y reducir la contaminación por desechos agroindustriales.

Finalmente, la evaluación de la biodegradabilidad muestra que el sistema presenta una degradación significativa en condiciones controladas, lo que refuerza su potencial como alternativa ambientalmente sostenible. En conjunto, los resultados obtenidos evidencian la viabilidad técnica del uso de quitosano como electrolito en sistemas electroquímicos, aunque se requiere optimizar sus propiedades para alcanzar niveles de desempeño competitivos a escala industrial.

CONCLUSIONES

La obtención de quitosano a partir de cáscaras de camarón y su uso como electrolito en forma de gel en una celda electroquímica experimental evidencian la viabilidad de este biopolímero para aplicaciones en dispositivos energéticos sostenibles. La producción estimada de quitosano a partir de residuos agroindustriales resulta significativa, lo que refuerza su potencial como materia prima dentro de un enfoque de economía circular. El prototipo desarrollado presenta un desempeño electroquímico moderado, con valores de voltaje y corriente acordes a sistemas experimentales, junto con una alta capacidad de biodegradación, lo cual constituye una ventaja ambiental frente a tecnologías convencionales.

En este contexto, se aclara que el quitosano no actúa como material activo de la batería, sino como electrolito polimérico que facilita el transporte iónico dentro de la celda. Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran la variabilidad en la composición de la materia prima y la necesidad de optimizar la conductividad iónica del gel electrolítico. Este parámetro influye directamente en la densidad de corriente y en la durabilidad operativa del sistema, ya que una mayor movilidad iónica mejora el flujo eléctrico y reduce las pérdidas energéticas. Finalmente, se recomienda orientar futuras investigaciones hacia el escalado del proceso de obtención de quitosano, la mejora de las propiedades fisicoquímicas del electrolito y la evaluación del desempeño del sistema en condiciones reales de operación, con el fin de fortalecer su viabilidad técnica e industrial.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la optimización y caracterización experimental para validar estos resultados.

Contribución de los autores

Silvia Magdalena Coello Pisco: conceptualización, investigación, metodología, recursos, análisis formal.

Doménica Nicole Briones Coello: investigación, software, redacción – borrador original.

Rubén Leopoldo Manrique Suárez: validación, redacción – revisión y edición.

Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES)

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Alam Zaidi, S.F., Saeed, A., Ho, V.C., Heo, J.H., Cho, H.H., Sarwar, N., Lee, N.E., Mun, J., Lee, J.H. (2023) "Chitosan-reinforced gelatin composite hydrogel as a tough, anti-freezing, and flame-retardant gel polymer electrolyte for flexible supercapacitors", *International Journal of Biological Macromolecules*, 234. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123725
- Antu, A.R., Ali, M.S., Ferdous, M.J., Ahmed, M.T., Ali, M.R., Suraiya, S., Pangestuti, R. & Haq, M. (2024) "Recovery and Characterization of Calcium Rich Mineral Powders Obtained from Fish and Shrimp Waste: A Smart Valorization of Waste to Treasure", *Sustainability*, 16(14). DOI: 10.3390/su16146045
- Baikara, H., Riofrío, A. & Alcívar, T. (2021) "Environmental and Economic Viability of Chitosan Production in Guayas-Ecuador: A Robust Investment and Life Cycle Analysis", *ACS Omega*, 6(36), pp. 23038–23051. DOI: 10.1021/acsomega.1c01672
- Bósquez Cáceres, M.F. (2023) *Breaking new grounds in Zinc-Air battery research: studying the effects of innovative drying techniques on the structural and electrochemical properties of Carboxymethylcellulose-Chitosan-Citric Acid Hydrogels as Next-Generation Electrolytes*. Tesis de licenciatura. Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.yachaytech.edu.ec/handle/123456789/625>
- Cascante, A. (2022) *La economía circular y el desarrollo sustentable como estrategia de responsabilidad social para el aprovechamiento energético de los desechos plásticos*. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/7fddc1eb-26d8-4b7b-8e29-839281b21085>
- Cruz Balaz, M.I., Bósquez Cáceres, M.F., Delgado, A.D., Arjona, N., Morera Córdova, V., Álvarez Contreras, L. & Tafur, J.P. (2023) "Green Energy Storage: Chitosan-Avocado Starch Hydrogels for a Novel Generation of Zinc Battery Electrolytes", *Polymers*, 15(22). DOI: 10.3390/polym15224398
- Chancusig Sarzosa, J.E. & Tipanguano Astudillo, T.S. (2022) *Aprovechamiento de la cáscara de camarón para la obtención de quitosano y su potencial aplicación en la remoción de metales pesados, provincia de Cotopaxi en el periodo 2022-2023*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Cotopaxi. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/85cfa0e8-2411-48a2-ad00-9e2176f4b020>
- Chang Valdiviezo, G.S. & Piedra Soriano, C.V. (2024) *Comercialización de fundas biodegradables a base de cáscaras de naranja en la ciudad de Guayaquil*. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/17a7a4fb-40e6-49c5-bdb2-ce0b8436f018/content>
- Gonzabay Crespin, Á., Vite Cevallos, H., Garzón Montealegre, V. & Quizhpe Cordero, P. (2021) "Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-2020", *Polo del Conocimiento*, 6(9), pp. 1040–1058. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3093>
- González Cubillo, W.F. (2021) *Estudio de las tecnologías limpias para la gestión sostenible de residuos domésticos peligrosos en tiempos de pandemia COVID-19*. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/7455bbb3-ad9a-47b9-8903-97b5690d3156>
- Hagen Rødde, R., Einbu, A. & Varum, K.M. (2008) "A seasonal study of the chemical composition and chitin quality of shrimp shells obtained from northern shrimp (*Pandalus borealis*)", *Carbohydrate Polymers*, 71(3), pp. 388-393. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.06.006

- Huang W.C., Zhao, D., Xue C. & Mao X. (2022) "An efficient method for chitin production from crab shells by a natural deep eutectic solvent", *Marine Life Science & Technology*, 4, pp. 384–388. DOI: 10.1007/s42995-022-00129-y
- Kiehadrouinezhad, M., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Varjani, S., Wang, Y., Peng, W., Pan, J., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M. (2023) "Marine shell-based biorefinery: A sustainable solution for aquaculture waste valorization", *Renewable Energy*, 206, pp. 623–634. DOI: 10.1016/j.renene.2023.02.057
- Korampattu, L., Ghosh, N. & Paresh, L. (2024) "Shell waste valorization to chemicals: methods and progress", *Green Chemistry*, 26 (10), pp. 5601–5634. DOI: 10.1039/D3GC05177C
- Lucas, R.C. (2024) *Estudio de caso: simbiosis industrial y su relación con la economía circular en la Industria 4.0*. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Disponible en: https://raae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UG_a86f2758c40d143c7ddf4d1209402b5e?sid=2985271
- Mathew, G.M., Mathew, D.C., Sukumaran, R.K., Sindhu, R., Huang, C.C., Binod, P., Sirohi, R., Kim, S.H. & Pandey, A. (2020) "Sustainable and eco-friendly strategies for shrimp shell valorization", *Environmental Pollution*, 26. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115656
- Morales, M.F. (2019) *Remoción de cromo III de aguas de curtido mediante la utilización del exoesqueleto del camarón*. Tesis de pregrado. Universidad de Las Américas (UDLA), Quito. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10594>
- Nowacki, K. & Galiński, M. (2025) "A genipin-crosslinked chitosan hydrogel as a quasi-solid-state electrolyte for sustainable electrochemical capacitors", *Sustainable Energy & Fuels*, 9(13), pp. 3624–3634. DOI: 10.1039/d5se00223k
- Ovalle Torres, B.S., Barraza Torres, O., Hernández López, J.A. & Peña, E. (2023) "Obtaining chitosan from fishing residues and its potentiometric titration", *Brazilian Journal of Science*, 2(2), pp. 32–38. DOI: 10.14295/bjs.v2i2.240
- Troya, H. (2024) *Estudio de caso análisis del ciclo de vida (ACV) en el desarrollo sostenible en la industria 4.0 en el sector CIU 10*. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. DOI: 10.13140/RG.2.2.18734.93768
- Vásquez, P. (2023) *Productos verdes: la tendencia hacia un consumo sostenible en el Ecuador*. Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos (CEER). Disponible en: <https://ceer.ec/huella-de-carbono-en-la-industria/?utm>