

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4680

Sustitución del carbonato de calcio inorgánico por carbonato de calcio biogénico obtenido de residuos de las vieiras (*argopecten purpuratus*) en las industrias peruanas

Darlyn Del Castillo Luis

20170463@aloe.ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-6731-4325>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Lima, Perú.

Anthony Palomino Achulla

20172451@aloe.ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8398-1278>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Lima, Perú.

Rosa Larios Francia

rlariosf@ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-1471-9185>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Lima, Perú.

Javier Quino Favero

jquino@ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0073-2925>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Lima, Perú.

Correspondencia: 20170463@aloe.ulima.edu.pe

Artículo recibido 28 diciembre 2022 Aceptado para publicación: 28 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Del Castillo Luis, D., Palomino Achulla, A., Larios Francia, R., & Quino Favero, J. (2023). Sustitución del carbonato de calcio inorgánico por carbonato de calcio biogénico obtenido de residuos de las vieiras (*argopecten purpuratus*) en las industrias peruanas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 3640-3656. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4680

RESUMEN

El Perú es a nivel mundial el tercer productor de vieiras o conchas, industria que genera diversos beneficios económicos y sociales, pero, a la vez, genera un problema ambiental ya que se desecha las valvas de las vieiras en vertederos. No obstante, estas se pueden transformar en carbonato de calcio pulverizado biogénico en reemplazo del carbonato de calcio inorgánico obtenido de la caliza, promoviendo una serie de beneficios. Así, esta investigación se trazó como objetivo principal determinar en qué industrias resulta competente este reemplazo. Para este efecto se realizó una revisión de la literatura donde se pudo determinar las características que diferencian ambos productos, así como una búsqueda de las industrias peruanas que importan carbonato de calcio inorgánico. De esa forma, se determinó que las industrias de agricultura/acuicultura, farmacéutica y de alimentos cumplen con las características para hacer competente la sustitución de carbonato de calcio inorgánico por el biogénico.

Palabras clave: valvas; carbonato de calcio; caliza; industrias peruanas; economía circular.

Substitution of inorganic calcium carbonate by biogenic calcium carbonate obtained from scallop (*argopecten purpuratus*) waste in peruvian industries

ABSTRACT

Peru is the world's third largest producer of scallops or shells, an industry that generates various economic and social benefits, but, at the same time, generates an environmental problem since scallop shells are disposed of in landfills. However, these can be transformed into biogenic pulverized calcium carbonate instead of inorganic calcium carbonate obtained from limestone, promoting a series of benefits. Thus, the main objective of this research was to determine in which industries this replacement is competent. For this purpose, a review of the literature was carried out where it was possible to determine the characteristics that differentiate both products, as well as a search for the Peruvian industries that import inorganic calcium carbonate. In this way, it was determined that the agriculture/aquaculture, pharmaceutical and food industries meet the characteristics to make the substitution of inorganic calcium carbonate competent for the biogenic one.

Keywords: shells; calcium carbonate; limestone; Peruvian industries; circular economy.

INTRODUCCIÓN

En la industria pesquera, la comercialización de moluscos ocupa el segundo lugar a nivel mundial con 16,1 millones de toneladas equivalente a 19 mil millones de dólares producidas anualmente (Silva et al., 2019). Dentro de la amplia gama de moluscos, las vieiras o conchas constituyen un producto muy valorado en el mercado por su uso en la industria gastronómica. Las presentaciones comerciales de este producto son tres: la concha completa, la gónada con el músculo y solo la gónada (Dewi et al., 2021). Los principales productores de vieiras o conchas son China, Japón, Perú y Chile con hasta un 95% de la producción; nuestro país aporta el 1.2% (Mendo & Quevedo, 2020). El principal producto que Perú exporta a los mercados de E.E.U.U y Europa, en la categoría, es la concha desvalvada y limpia (Mendo & Quevedo, 2020).

La vieira peruana o concha de abanico, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), es un bivalvo que se siembra, cosecha y produce principalmente en las costas de Perú y Chile (Kluger et al., 2019). La masificación de su producción en estos países se logra después de la ocurrencia del Fenómeno El Niño en los años 80's, debido a factores como el aumento de temperatura y de los niveles de oxígeno en el agua (Mendo et al., 2016).

La producción de conchas de abanico aporta grandes beneficios a la economía peruana: cerca de 5 000 pescadores artesanales y 20 000 puestos de trabajo están relacionados a ella. (Kluger et al., 2016). No obstante, se genera grandes cantidades de residuos debido a que las valvas de las conchas son consideradas un desperdicio y se acumulan en vertederos ocasionando impactos ambientales significativos tales como la generación de NH_3 , H_2S , compuestos orgánicos volátiles con olor fétido e inclusive toxicidad. En dichos sumideros proliferan mosquitos, roedores, insectos, entre otros (H. Y. Li et al., 2012) que son vectores de diversas enfermedades. Estas amenazas son perdurables ya que, a diferencia de otras *Argopecten*, la concha de abanico peruana tiene una persistencia en el ambiente de hasta 7-10 años (C. Li et al., 2018).

Múltiples estudios han encontrado en la composición de las valvas, aproximadamente, 95-99% de carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de calcita y aragonita mientras que el resto es una pequeña cantidad de bio-macromoléculas como proteínas, glicoproteínas y polisacáridos (Dampang et al., 2021; J. Morris et al., 2019; Ramakrishna et al., 2017). En consecuencia, las valvas pasan a ser la fuente biogénica más rica de carbonato de calcio,

por lo que distintos proyectos han tratado su producción en forma pulverizada de alta pureza (Barros et al., 2009; Lu et al., 2015; Ramakrishna et al., 2017).

En la actualidad, el carbonato de calcio comercial se obtiene principalmente de la caliza, mineral cuya extracción causa impactos ambientales negativos como la contaminación del aire, aguas subterráneas y suelo (Ayuningrum & Purnaweni, 2018). En contraste, existe la alternativa de obtener carbonato de calcio de las valvas tomando en cuenta que es un recurso renovable y económico (Seesanong et al., 2021), abundante en las áreas costeras (Dampang et al., 2021), reutiliza residuos que son considerados molestos y desechables (J. Morris et al., 2019), su proceso de producción es limpio (Habte et al., 2020) y el porcentaje en peso de carbonato de calcio que contiene es superior al de la caliza (Ramakrishna et al., 2017). Adicionalmente, los bivalvos son efectivos para secuestrar CO₂, sabiendo que a nivel mundial es posible secuestrar una cantidad total de 5 a 7 millones de toneladas métricas de CO₂ por año (Alonso et al., 2021) por este medio. Entonces, de la argumentación expuesta, surgió nuestro interés en el tema y el posterior objetivo principal de la investigación: determinar en qué industrias resulta competente la sustitución del carbonato de calcio inorgánico por el biogénico obtenido de las vieiras. Durante el proceso, se sistematizó información acerca de las características y posibles aplicaciones de los residuos de las conchas (*Argopecten purpuratus*) y se evaluaron las condiciones necesarias para el desarrollo de una industria que se dedique a su procesamiento dando relevancia al modelo de producción de economía circular. Finalmente, el estudio brinda una opción para disminuir la contaminación en las costas peruanas y generar una industria para beneficio económico y social de las comunidades involucradas.

METODOLOGÍA

Este artículo tiene un enfoque cuantitativo con un diseño metodológico no experimental de tipo transversal descriptivo, debido a que se comparan resultados de investigación de autores y sus observaciones para después analizarlos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Se encuentra dividido en tres etapas de desarrollo. Primero, se obtuvieron datos cuantitativos de las características que diferencian al carbonato de calcio inorgánico del biogénico a través de una revisión de literatura en revistas indexadas de bases de datos Scopus, Web of Science y en repositorios de institutos peruanos relacionados a la acuicultura. Segundo, se ubicó en bases de datos como Veritrade y en

las bases de datos del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) los sectores y las industrias peruanas que exportan, producen y, principalmente, importan CaCO_3 . Finalmente, se identificó en qué industrias peruanas sería competente la sustitución del carbonato de calcio inorgánico por el biogénico. Para ello, se realizó un cuadro de doble entrada que muestra las industrias y los criterios establecidos en el primer paso para encontrar la industria en la que resultaría ventajosa la sustitución.

RESULTADOS

Revisión de Literatura

En la siguiente tabla se muestran los datos cuantitativos de características fisicoquímicas como: porcentaje de CaCO_3 (pureza), porcentaje por fase (aragonita o calcita), concentración de metales pesados y granulometría del carbonato de calcio biogénico como del inorgánico.

Tabla 1. Datos cuantitativos de características fisicoquímicas

Características fisicoquímicas	CaCO_3 biogénico		CaCO_3 inorgánico	
	Autores	Valor cuantitativo	Autores	Valor cuantitativo
Porcentaje de CaCO_3 (pureza)	Yoon et al., 2003	96.00%	Akbar et al., 2021	97.91%
	Sirisomboonchai et al., 2015	98.00%	Hwidi et al., 2018	97.58%
	Kaplan, 1998	95% - 99%	Konecny et al., 2017	96.00%
	Dewi et al., 2021	98.70%	Munawaroh et al., 2018	99.25%
	Silva et al., 2019	96.00%	Munawaroh et al., 2018	95.15%
	Munusamy et al., 2019	98% - 99%	Munawaroh et al., 2018	87.40%
	Barros et al., 2009	95% - 99%	Ramakrishna et al., 2017	95.00%
	Barros et al., 2009	95.00%		
	H. Y. Li et al., 2012	95.00%		
Alva Urcia & Silvia Patricia, 2021	94.00%			
Porcentaje por fase (aragonita o calcita)	Alva Urcia & Silvia Patricia, 2021	Aragonita: 4 - 6%, CaCO_3 96-94%	Munawaroh et al., 2018	Calcita: 100%
	Ramakrishna et al., 2017	Aragonita: 10%, Calcita: 90%	Ramakrishna et al., 2017	Calcita: 100%
Concentración de metales pesados	Barros et al., 2009	$\text{FeO} < 0.1\%$, $\text{K}_2\text{O} < 0.1\%$, $\text{SiO}_2 < 0.1\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.1\%$	Ahmad et al., 2021	Cu: 14,29 mg/kg Mn: 53,41 mg/kg Ni: 2,83 mg/kg

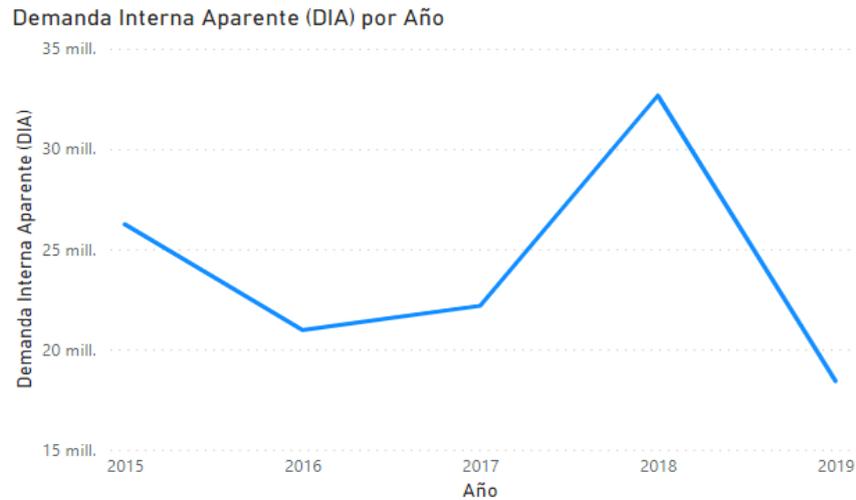
Sustitución del carbonato de calcio inorgánico por carbonato de calcio biogénico obtenido de residuos de las vieiras (*argopecten purpuratus*) en las industrias peruanas

Características fisicoquímicas	CaCO ₃ biogénico		CaCO ₃ inorgánico	
	Autores	Valor cuantitativo	Autores	Valor cuantitativo
	Seo et al., 2019	0% sustancias nocivas	Hwidi et al., 2018	MnO: 0,02% peso Al ₂ O ₃ : 0,35% peso Fe ₂ O ₃ : 0,40% peso SiO ₂ : 0,90% peso
			Liu et al., 2022	Concentración media alta de Cd (0,13 mg/kg) y elevadas de Cr, Cu y Ni.
Granulometría	Dampang et al., 2021	149 μm	Hwidi et al., 2018	75 μm, 150 μm, 225 μm, 300 y 425 μm
	Seo et al., 2019	75 μm	Munawaroh et al., 2018	1.594 y 2.503 μm
	Seo et al., 2019	150 μm	Akbar et al., 2021	1,18mm, 2mm y 0,75 μm
	Barros et al., 2009	Inferior: 2mm; Media: 2 - 4mm; Gruesa: 4mm		
	Barros et al., 2009	A: 20 μm; B: 4mm; C: 2mm		
	H. Y. Li et al., 2012	63 μm		
	Lu et al., 2015	180 μm		
	Ramakrishna et al., 2017	30 - 40 μm		

Identificación de industrias peruanas que utilizan CaCO₃

De acuerdo con la información recolectada de Veritrade y del MINEM, la demanda interna aparente del CaCO₃ inorgánico se evidencia en el siguiente gráfico.

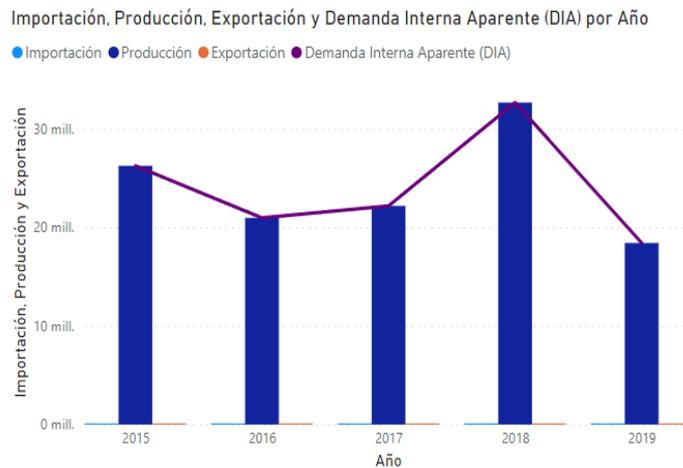
Figura 1. *Demanda Interna Aparente (DIA) en toneladas, 2015-2019.*



Nota. Los datos de Producción son del Ministerio de Energía y Minas (2019) y los datos de importación y Exportación son de Veritrade (2022). Todos los valores son en toneladas.

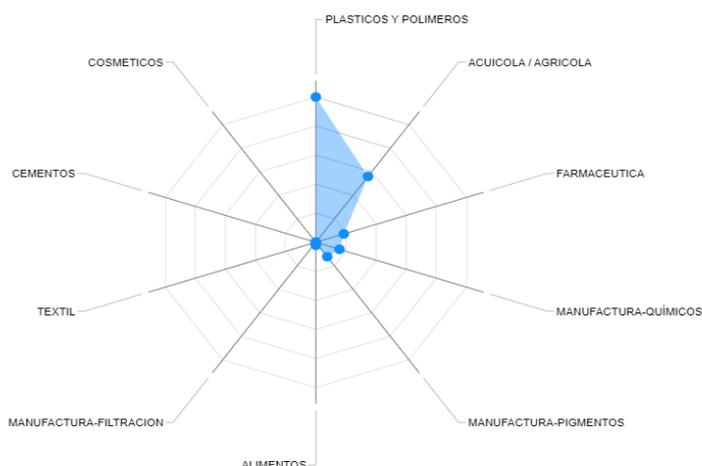
El segundo gráfico refleja la variación del DIA en términos de la importación, producción y exportación de carbonato de calcio inorgánico, en el mismo periodo.

Figura 2. *Importación, producción y exportación en toneladas de CaCO₃, 2015-2019.*



De acuerdo con el OSINERGMIN, la producción del CaCO₃ inorgánico en el Perú es destinada principalmente al sector construcción y manufactura de materiales (Montesinos et al., 2017). Por otro lado, la investigación se enfocará en las importaciones del CaCO₃ inorgánico, debido a que es el mercado que se desea sustituir.

Figura 3. Principales industrias peruanas con importaciones de CaCO_3 , 2016-2021.



Identificación de la industria competente para sustituir el CaCO_3 inorgánico

A continuación, se presentará un cuadro de doble entrada que muestra las principales industrias que importan carbonato de calcio y los criterios cuantitativos presentados previamente para poder encontrar la industria en la que resultaría ventajosa la sustitución.

Tabla 2. Análisis para sustituir el CaCO_3 inorgánico en las industrias peruanas

Industrias peruanas	Porcentaje de CaCO_3 (pureza)		Porcentaje por fase		Concentración metales pesados		Granulometría		Total ***
	CCB*	CCI**	CCB*	CCI**	CCB*	CCI**	CCB*	CCI**	
	Pureza (96%)	Pureza (94%)	Calcita (95%) Aragonita (5%)	Calcita (100%) Aragonita (0%)	Baja	Alta	20 μm	0,75 μm	
Plásticos y polímeros	X		X		X			X	3
Acuícola/ Agrícola	X		X		X		X		4
Manufactura/ Químicos	X			X		X		X	1
Manufactura/ Pigmentos	X			X	X		X		3
Farmacéutica	X		X		X		X		4
Alimentos	X		X		X		X		4
Manufactura/ Filtración	X		X		X			X	3
Textil	X			X	X			X	2
Construcción/ Cementos		X		X		X	X		1

*CCB: Carbonato de calcio biogénico

**CCI: Carbonato de calcio inorgánico

*** El total de la tabla se calcula sumando sólo las industrias cuyo uso del carbonato de calcio se ajusta a la característica del CaCO_3 biogénico.

La justificación técnica se presenta a continuación en función a los criterios del cuadro previo:

Porcentaje de CaCO₃ (pureza)

Sobre esta característica, la mayoría de los sectores productivos necesitan un carbonato de calcio con alta pureza excepto el sector de construcción puesto que la materia prima necesaria no requiere de una alta pureza ni un procedimiento especial ya que se considera como un producto de bajo valor (Hou et al., 2016). Es así que en las industrias que recomendamos el carbonato calcio biogénico es debido a que necesitan un producto de alta pureza y valor.

Porcentaje por fase

La presencia de una fase mixta entre calcita y aragonita mejora la calidad y las propiedades mecánicas de los productos que usan como insumo al carbonato de calcio biogénico (H. Y. Li et al., 2012). En los sectores que indicamos como necesaria la presencia de aragonita es debido a que los productos finales en estas industrias tienen que cumplir estrictos requisitos de calidad como son las propiedades mecánicas.

Concentración de metales pesados

La presencia de metales pesados en el carbonato de calcio inorgánico es una desventaja ya que la mayoría de las industrias necesitan un carbonato de calcio puro para reducir la degradación de los productos y las maquinarias. En el caso de los plásticos, farmacéutica y alimentos la presencia de metales puede degradar el producto final. Para la industria acuícola /agrícola se usa como agente de encalado para aumentar el pH, por lo tanto, no resulta conveniente añadir posibles metales al suelo o agua de estas industrias.

Granulometría

De acuerdo con los resultados de la revisión de literatura, se evidencia que el carbonato de calcio inorgánico ha logrado obtener tamaños más pequeños que el biogénico. Esto es porque es un producto comercial, sin embargo, si sometemos a procesos similares el biogénico puede tener similares resultados. Es así que en las industrias que recomendamos el carbonato calcio biogénico es debido a que se comercializa 20 µm de tamaño.

DISCUSIÓN

Diversos autores han resaltado los usos del carbonato de calcio biogénico en las distintas industrias; por ejemplo, como complemento alimenticio para ganado, agente de

encalado agrícola, biofiltro (J. Morris et al., 2019) y como aditivo expansivo para el mortero de cemento (Seo et al., 2019); además, aplicaciones en la industria papelera, plásticos o elaboración de cloruro de polivinilo para vidrios o pinturas, poliolefina y poliéster, selladores y adhesivos (Alonso et al., 2021).

Coincidiendo con Alonso et.al (2021), el carbonato de calcio biogénico tiene un gran potencial de desarrollo en la industria agrícola. Dentro de las aplicaciones, puede corregir la acidez del suelo y sustituir fertilizantes químicos. Además, el CaCO_3 biogénico es considerado un componente principal en la producción de fosfato monocálcico y tricálcico con un proceso simple, rápido y de alta pureza (Seesanong et al., 2021) que es usado en los fertilizantes o como reductor de acidez para mejorar la fertilidad y niveles de oxígeno en el agua para la acuicultura (J. Morris et al., 2019).

La sustitución también resultaría ventajosa en la industria farmacéutica ya que en ella se prefiere un carbonato de calcio más purificado y sin presencia de metales pesados (Silva et al., 2019). Nuestros resultados apuntan a utilizarlo como insumo para la producción de pasta dental ya que anualmente se importa una cantidad considerable (aprox. 60 000 kg anuales) para este propósito. Por otro lado, se resalta su utilidad como suplemento nutricional enriquecido tanto para humanos como animales, cosmética y maquillaje (Hou et al., 2016; Silva et al., 2019; Nath & Singh, 2020), sin embargo, estos productos cuentan con regulaciones más estrictas que inviabilizan su sustitución.

A diferencia de otros autores como Silva et al., (2019), Alonso et al., (2021) y J. Morris et al., (2019) nosotros resaltamos el uso del carbonato de calcio biogénico en la industria alimentaria. Allí, es usado como aditivo, tiene el nombre de "E170" que tiene diversas aplicaciones como colorante alimentario, antiaglomerante, corrector de acidez, gelificante, espesante, agente de carga, endurecedor, agente de glaseado y desmoldeante (EFSA, 2011). Además, se usa como materia prima para la formulación del MCP y TCP que son aditivos ampliamente utilizados en la industria de alimentos (Seesanong et al., 2021). Empresas peruanas importan en promedio 20 000 kg por año pues en el país no se produce un CaCO_3 puro y sin metales pesados.

La industria de plásticos y polímeros podría ser ideal la sustitución ya que importa una apreciable cantidad de kilogramos de carbonato de calcio, sin embargo, requiere un tamaño de grano muy pequeño y no se cuenta con la tecnología necesaria para tal propósito. Además, siendo uno de los propósitos de la investigación minimizar impactos

ambientales, no es de nuestro interés promover una industria que causa más daño a la naturaleza.

Autores con los que coincidimos como Hou et al. (2016), J. Morris et al. (2019), entre otros, sostienen que el carbonato de calcio obtenido de las conchas no es aprovechado en su máximo potencial pues se limita su uso en industrias como la de construcción con productos de poco valor como es el aditivo para cemento o para relleno de carreteras en cuyos casos pasa por un proceso básico de lavado, secado y molienda (Silva et al., 2019). En la misma línea de otro grupo de autores, se proponen usos potenciales e innovadores del carbonato de calcio biogénico como la de producción de CaO (Dampang et al., 2021), adsorbente de Pb (II) (Wang et al., 2021), producción fosfato monocálcico y tricálcico (Seesanong et al., 2021), refuerzo para biocompositos de PLA (Gigante et al., 2020), bio-relleno para reforzar polipropileno (H. Y. Li et al., 2012) y relleno para compuestos termoplásticos (Munusamy et al., 2019).

Finalmente, el presente estudio en armonía con lo propuesto por Silva et al. (2019), Barros et al. (2009) y Munusamy et al. (2019) plantea los pasos iniciales para la generación de una nueva industria que podrían hacer un uso ecoeficiente y sostenible del carbonato de calcio biogénico con el objetivo de contribuir al bienestar ambiental, económico y social en la industria peruana de producción de conchas de abanico.

CONCLUSIONES

De esta forma, la presente investigación arribó a las siguientes conclusiones:

1. Resulta competente el reemplazo del CaCO_3 inorgánico por el CaCO_3 biogénico en industrias como, acuícola/agraria, farmacéutica y alimentos donde es necesario un CaCO_3 de alta pureza, la fase mixta (aragonita y calcita), y, sobre todo, es crítico el indicador de metales pesados en el producto. Así se evitarían reprocesos de eliminación de estos últimos, mejorando la productividad, eficiencia del proceso y la composición del resultado.
2. Se concluye que en las industrias de plásticos/polímeros y manufactura/filtración sería ideal la sustitución, sin embargo, el desarrollo de las tecnologías para el proceso de obtención del CaCO_3 biogénico es incipiente y no puede alcanzar aún la granulometría requerida.
3. En Perú, la producción de CaCO_3 inorgánica es significativa y se destina prioritariamente a la industria del cemento, limitando su uso, con productos de poco

valor.

4. Según los resultados encontrados, el CaCO_3 obtenido de las conchas de los bivalvos en promedio es superior al contenido de una contiene la fase de aragonito y es más puro y limpio ya que no contiene sustancias nocivas.
5. Es viable el desarrollo de una industria para el CaCO_3 biogénico que se destinaría a diversas actividades productivas, dándole así un valor agregado y evitaría la dependencia en productos importados.

LISTA DE REFERENCIAS

- Acosta-Jofré, M. S., Sahade, R., Mendo, J., González-Ittig, R. E., Laudien, J., & Chiappero, M. B. (2020). Population genetic structure and demographic history of the scallop *Argopecten purpuratus* from Peru and Northern Chile: implications for management and conservation of natural beds. *Hydrobiologia*, *847*(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04048-5>
- Ahmad, N. A., Ali, U. F. M., & Chan, M. F. (2021). Potential health risk assessment of heavy metal content in Perlis soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *765*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/765/1/012003>
- Akbar, N. A., Aziz, H. A., & Adlan, M. N. (2021). The characteristics of limestone and anthracite coal as filter media in treating pollutants from groundwater. *International Journal of Environmental Science and Development*, *12*(2), 58–62. <https://doi.org/10.18178/IJESD.2021.12.2.1318>
- Alonso, A. A., Álvarez-Salgado, X. A., & Antelo, L. T. (2021). Assessing the impact of bivalve aquaculture on the carbon circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *279*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123873>
- Alva Urcia, C. J., & Silvia Patricia, P. (2021). Estudio de la viabilidad técnico-ambiental de la aplicación de pellets basados en valvas de conchas de abanico y exoesqueletos de langostinos como adsorbentes para la remoción de metales pesados en agua [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima]. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/14370>
- Ayuningrum, T. V., & Purnaweni, H. (2018). Sustainability Activities in the Mining Sector: Current Status and Challenges Ahead Limestone Mining in Nusakambangan. *E3S Web of Conferences*, *31*, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183108027>

- Barros, M. C., Bello, P. M., Bao, M., & Torrado, J. J. (2009). From waste to commodity: transforming shells into high purity calcium carbonate. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.013>
- Dampang, S., Purwanti, E., Destyorini, F., Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., & Imron, M. F. (2021). Analysis of Optimum Temperature and Calcination Time in the Production of CaO Using Seashells Waste as CaCO₃ Source. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 221–228. <https://doi.org/10.12911/22998993/135316>
- Dewi, D. A. A. N., Sugiyanto, F. X., & Iskandar, D. D. (2021). Fisheries waste handling to enhanced fishers society economic growth: blue growth initiative perspective. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), 012114. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012114>
- EFSA, E. F. S. A. (2011). Scientific Opinion on re-evaluation of calcium carbonate (E 170) as a food additive. *EFSA Journal*, 9(7), 1–73. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2318>
- Gigante, V., Cinelli, P., Righetti, M. C., Sandroni, M., Tognotti, L., Seggiani, M., & Lazzeri, A. (2020). Evaluation of mussel shells powder as reinforcement for pla-based biocomposites. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijms21155364>
- Habte, L., Khan, M. D., Shiferaw, N., Farooq, A., Lee, M. hye, Jung, S. ho, & Ahn, J. W. (2020). Synthesis, characterization and mechanism study of green aragonite crystals fromwaste biomaterials as calcium supplement. *Sustainability (Switzerland)*, 12(12), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su12125062>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (Primerán.). McGraw-Hill.Hou, Y., Shavandi, A., Carne, A., Bekhit, A. A., Ng, T. B., Cheung, R. C. F., & Bekhit, A. E. din A. (2016).
- Hwidi, R. S., Tengku Izhar, T. N., & Mohd Saad, F. N. (2018). Characterization of Limestone as Raw Material to Hydrated Lime. *E3S Web of Conferences*, 34. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402042>
- Kluger, L. C., Taylor, M. H., Mendo, J., Tam, J., & Wolff, M. (2016). Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture

- system. *Ecological Modelling*, 331, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.09.002>
- Kluger, L. C., Taylor, M. H., Wolff, M., Stotz, W., & Mendo, J. (2019). From an open-access fishery to a regulated aquaculture business: the case of the most important Latin American bay scallop (*Argopecten purpuratus*). *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 187–203. <https://doi.org/10.1111/raq.12234>
- Konecny, P., Hagi, A., Plevova, E., Vaculikova, L., & Murzyn, T. (2017). Characterization of Limestone from Cement Plant at Berbera (Republic of Somaliland). *Procedia Engineering*, 191, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.152>
- Li, C., Liu, X., Liu, B., Ma, B., Liu, F., Liu, G., Shi, Q., & Wang, C. (2018). Draft genome of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *GigaScience*, 7(4), 1–6. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy031>
- Li, H. Y., Tan, Y. Q., Zhang, L., Zhang, Y. X., Song, Y. H., Ye, Y., & Xia, M. S. (2012). Bio-filler from waste shellfish shell: Preparation, characterization, and its effect on the mechanical properties on polypropylene composites. *Journal of Hazardous Materials*, 217–218, 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.028>
- Li, X., Geng, T., Shen, W., Zhang, J., & Zhou, Y. (2021). Quantifying the influencing factors and multi-factor interactions affecting cadmium accumulation in limestone-derived agricultural soil using random forest (RF) approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111773>
- Liu, X., Jing, M., & Bai, Z. (2022). Heavy Metal Concentrations of Soil, Rock, and Coal Gangue in the Geological Profile of a Large Open-Pit Coal Mine in China. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14021020>
- Lu, J., Lu, Z., Li, X., Xu, H., & Li, X. (2015). Recycling of shell wastes into nanosized calcium carbonate powders with different phase compositions. *Journal of Cleaner Production*, 92, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.093>
- Mendo, J., & Quevedo, I. (2020). Estudio de prospectiva: la concha de abanico. Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura.
- Mendo, J., Wolff, M., Mendo, T., & Ysla, L. (2016). Scallop Fishery and Culture in Peru. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 40, 1089–1109. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62710-0.00028-6>

- Montesinos, J., Zurita, V., Romero, M., Zárata, M., & Pajuelo, M. (2017). Reporte de Análisis Económico Sectorial - Minería, Año 5 - Número 7. Gerencia de Políticas y Análisis Económico. http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/oficina-estudios-economicos
- Morris, J., Backeljau, T., & Chapelle, G. (2019). Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 42–57. <https://doi.org/https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1111/raq.12225>
- Morris, J. P., Wang, Y., Backeljau, T., & Chapelle, G. (2016). Biomimetic and bio-inspired uses of mollusc shells. *Marine Genomics*, 27(2016), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2016.04.001>
- Munawaroh, F., Muharrami, L. K., Triwikantoro, T., & Arifin, Z. (2018). Characterization of Limestone in Pamekasan Madura Island as Raw Material for Producing Nano Precipitated Calcium Carbonate (NPCC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 395(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/395/1/012009>
- Munusamy, Y., Sethupathi, S., & Choon, C. H. (2019). Potential use of waste cockle shell as filler for thermoplastic composite. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(5), 1063–1074. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00867-9>
- Nath, S., & Singh, R. (2020). A study of the practices and processes and benefit sharing of limestone mining in the Banour-Shiva Mining Region in Himachal Pradesh, India. *Environmental and Socio-Economic Studies*, 8(1), 36–47. <https://doi.org/10.2478/environ-2020-0005>
- Ramakrishna, C., Thenepalli, T., Han, C., & Ahn, J. W. (2017). Synthesis of aragonite-precipitated calcium carbonate from oyster shell waste via a carbonation process and its applications. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(1), 225–230. <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0264-6>
- Seesanong, S., Boonchom, B., Chaiseeda, K., & Boonmee, W. (2021). Conversion of Bivalve Shells to Monocalcium and Tricalcium Phosphates: An Approach to Recycle Seafood Wastes. *Materials*, 14, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14164395>

- Seo, J. H., Park, S. M., Yang, B. J., & Jang, J. G. (2019). Calcined oyster shell powder as an expansive additive in cement mortar. *Materials*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/ma12081322>
- Silva, T. H., Mesquita-Guimarães, J., Henriques, B., Silva, F. S., & Fredel, M. C. (2019a). The potential use of oyster shell waste in new value-added by-product. *Resources*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/resources8010013>
- Wang, Q., Jiang, F., Ouyang, X. K., Yang, L. Y., & Wang, Y. (2021). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution by mussel shell-based adsorbent: Preparation, characterization, and adsorption performance. *Materials*, 14(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma14040741>