

# JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY

2025



Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 01-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186

Vol. 9 Núm. 3 (2025)





**UJAT**

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



## **DIRECTORIO**

**L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO**

Rector

**DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ**

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

**DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA**

Secretario de Servicios Académicos

**LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO**

Encargado del Despacho de la Secretaría de Servicios  
Administrativos

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.<http://www.1atindex.unam.mx/>

JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 9, No. 3, Año 2025, es una publicación continua editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, <https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/>, Email: [jeeos@ujat.mx](mailto:jeeos@ujat.mx). Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de abril de 2025.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

**Dra. Laura Lorena Díaz Flores**  
**EDITORIA EN JEFE**

**MSI. Alva del Rocío Pulido Téllez**  
**GESTORA**

**M.A. Pauly González Mayo** **Dra. Antonia del Rocío López Guemez**  
**ASISTENTE EDITORIAL Y MAQUETADO**

**MIS Dalia Exaltación Medina Mandujano** **MAEE. Mari Cruz Valenzuela Jiménez**  
**ASISTENTE DE DISEÑO Y ESTILO**

**MC Sulma Guadalupe Gómez Jiménez** **MC Sirleni Ordóñez Frías**  
**ASISTENTE DE TRADUCCION**

#### **EDITORES ASOCIADOS POR ÁREA**

**Dra. Angélica del Carmen Lizardo Pérez**

**Men C en Arq. Margarita del Carmen Noguera Miceli**

**Dra. Haydee Pérez Castro**

**Dr. Luis Manuel López Manrique**

**Dra. Karla María Aguilar Castro**

**Dr. Edgar Vicente Macías Melo**

**Dr. José de los Santos López Lázaro**

**Dra. Lizeth Rojas Blanco**

**Dr. Erik Ramírez Morales**

**M. C. Cristina Ponce Parra**

**Dr. Reymundo Ramírez Betancour**

**Dr. Emmanuel Munguía Balvanera**

**Dr. René Sebastián Mora Ortiz**

## COMITÉ EDITORIAL

Dr. Bassam Ali, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Fabricio Nápoles Rivera, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Francisco López Villareal, **Instituto Tecnológico de Villahermosa.**

Dr. Fernando Israel Gómez Castro, **Universidad de Guanajuato**

Dr. Juan Serrano Arellano, **Instituto Tecnológico de Pachuca**

Dra. Isabel María Valdivia Fernández, **Universidad de la Habana- Facultad de Geografía**

Dra. Ivett Zavala Guillén, **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**

Dr. Luis Alfonso García Cerda, **Centro de Investigación de Química Aplicada**

Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.**

Dra. María Guadalupe Alpuche Cruz, **Universidad de Sonora**

Dr. Pedro Cruz Alcantar, **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Dr. Salvador Tututi Ávila, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Santa del Carmen Herrera Sánchez, **Universidad Autónoma del Carmen**

### Índice Vol. 9 Núm. 3 (2025)

<b>APROVECHAMIENTO DE LOS ESCOMBROS DE CERÁMICA COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS DE MORTERO</b>	<b>1-14</b>
De la Cruz-López L.F. <sup>1</sup> , Gómez-May E. <sup>1</sup> , Mora-Ortiz R.S. <sup>1*</sup> , Díaz-Alvarado S.A. <sup>1</sup> , Álvarez-Reyes J. <sup>2</sup>	
<b>ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS ELABORADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PROCESADOS AERÓBICA Y ANAERÓBICAMENTE</b>	<b>15-32</b>
San Juan- Martínez A. <sup>1*</sup> , Casanova-Pérez L. <sup>1</sup> ,García-Alonso F. <sup>1</sup>	
<b>EFFECTO DE LA CONCHA DE OSTIÓN CALCINADA EN LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>33-46</b>
López-López J.M., Jiménez-Bautista J.R., Rodríguez-Martínez K.J., Mora-Ortiz R.S.*., Díaz-Alvarado S.A.	
<b>DESAFÍOS NUMÉRICOS Y SOLUCIONES HIDRÁULICAS PRÁCTICAS A ESCALA LOCAL: CASO UNIDAD CHONTALPA, TABASCO, MEX.</b>	<b>47-62</b>
Pérez- De la Cruz A. <sup>1</sup> ,Priego-Hernández G. <sup>1</sup> ,Rivera-Trejo F. <sup>1*</sup> .	
<b>ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOTURBOSINA A PARTIR DE LODO RESIDUAL: PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO</b>	<b>63-78</b>
Contreras-Vázquez E. <sup>1</sup> , Vargas-Ibáñez L.T. <sup>2</sup> , Cano-Gómez J.J. <sup>1*</sup>	

## EFECTO DE LA CONCHA DE OSTIÓN CALCINADA EN LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE ALBAÑILERÍA

### EFFECT OF CALCINED OYSTER SHELL ON THE MASONRY MORTAR STRENGTH

López-López J.M., Jiménez-Bautista J.R., Rodríguez-Martínez K.J., Mora-Ortiz R.S.\*., Díaz-Alvarado S.A.

División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km 1. Cunduacán, Tabasco, México.

\*rene.mora@ujat.mx

#### Artículo Científico

Publicado: 17 de diciembre 2025

#### RESUMEN

En la presente investigación se analiza el uso de la concha de ostión (*Crassostrea Virginica*) calcinada como sustituto parcial del cemento Portland convencional en la elaboración de mortero de albañilería. Después de ser recolectada, la concha fue sometida a un proceso de limpieza a mano, calcinada en diferentes grupos y por separado a diferentes temperaturas (150, 300, 500, 750, 1000 °C) y, posteriormente, fue tamizada a un tamaño menor de partícula de 0.150 mm. Este proceso permitió obtener cinco tipos de biocemento. Como medida de control se fabricó un mortero convencional de albañilería con relación de cemento arena 1:4, con una consistencia (trabajabilidad) de 175 mm ± 5 mm. Partiendo de este diseño base se elaboraron morteros con sustitución parcial (en diferentes porcentajes) del cemento por los biocementos. Para determinar al biocemento con mejor desempeño y su porcentaje óptimo de sustitución, se dividieron los ensayos de laboratorio en dos grupos A y B, respectivamente. Los resultados mostraron que el biocemento

con mejor rendimiento en cuanto a resistencia fue el calcinado a 1000 °C, con porcentaje óptimo de sustitución del cemento del 10 %. Si bien la resistencia a la compresión de los morteros con biocemento no es mayor que la resistencia del mortero de control se demostró que es factible sustituir el cemento comercial por biocemento obteniendo resistencias aceptables para aplicaciones no estructurales. Con el reciclaje de la concha de ostión como biocemento se estaría incentivando el reciclaje de las conchas de ostión, reduciendo su acumulación excesiva.

**Palabras clave:** Concha de ostión; cemento; Mortero; Biocemento.

#### ABSTRACT

This research analyses the use of the calcined oyster shell (*Crassostrea Virginica*) as a partial substitute for conventional Portland cement in masonry mortar production. After being collected, the shell was subjected to a manual cleaning process, calcined in different groups and separately at various temperatures (150, 300, 500, 750, and

1000 °C), then sieved to a particle size of 0.150 mm. This process allowed obtaining five types of biocement. As a control measure, a conventional masonry mortar was manufactured with a cement-sand ratio of 1:4, with a consistency (workability) of 175 mm  $\pm$  5 mm. Based on this base design, mortars were produced with partial replacement (in different percentages) of cement by biocements. To determine the biocement with the best performance and its optimal replacement percentage, the laboratory tests were divided into two groups, A and B, respectively. The results showed that the biocement with the best performance in terms of strength was the one calcined at 1000 °C, with an optimal cement replacement percentage of 10%. Although the compressive strength of the mortars with biocement is not greater than the strength of the control mortar, it is demonstrated that it is feasible to replace commercial cement with biocement, obtaining acceptable strengths for non-structural applications. Recycling oyster shells as biocement would encourage the recycling of oyster shells, reducing their excessive accumulation.

**Keywords:** Oyster shell; cement; Mortar; Biocement.

## INTRODUCCIÓN

En México a nivel nacional la producción de conchas de ostión según la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca en el año 2023 fue de 20 mil 237.68 toneladas [1]. Los tres principales estados de la

república mexicana con mayor producción de ostión son: Veracruz con 13 mil 183.21 toneladas, Tabasco con 4 mil 873.66 toneladas y Sinaloa con 863.24 toneladas [1]. La producción de este alimento marino es una actividad económica y social que representa un ingreso muy importante para las personas que viven en zonas costeras de Tabasco. La industria del ostión representa un pilar muy fuerte en la economía del Estado, debido que a nivel nacional Tabasco aporta 24.7 % de toda la producción, dejando al año un valor monetario de 13 mil 674 millones de pesos para el Estado [2]. Los ostiones al ser consumidos producen una gran cantidad de desechos, esto es debido a que su concha constituye más del 90 % de su peso. La mayor parte de estos desechos no se reciclan, si no que, por el contrario, terminan siendo arrojados en los basureros municipales, o en muchos casos son utilizados como relleno de predios o baches en las calles [3] **Figura 1.**

Puesto que las conchas no son biodegradables los sitios en los que son depositadas sufren en poco tiempo de acumulación excesiva, provocando serios riesgos de salud pública, ya que debido a su forma cóncava son capaces de retener agua, convirtiéndose en un sitio ideal para el desarrollo de mosquitos portadores de dengue y chikungunya [3 y 4].

Debido a lo anterior, recientemente se han realizado esfuerzos por reciclar la concha de ostión como material en la industria de la construcción.

Especificamente en Tabasco, los esfuerzos por reciclar este material de desecho prácticamente están iniciando.



**Figura 1.** Desechos de conchas de ostión. (a) Concha de ostión como relleno de baches; (b) acumulación de conchas de ostión.

Los primeros trabajos que se realizaron sobre este material abordan el análisis de su composición química. En un estudio de difracción de rayos X realizado por De Los Santos *et al.* [4] se determinó que cuando las conchas del tipo *Crassostrea Virginica* (principal producto de la industria del ostión en Tabasco), son calcinadas a diferentes temperaturas, se forman compuestos de óxido de calcio (CaO), el cual es uno de los elementos más importantes del cemento comercial [5]. Lo anterior hizo pensar en la

posibilidad de sustituir parcialmente el cemento Portland por concha de ostión calcinada. La disminución del consumo de cemento Portland añadiría a la idea del reciclaje de la concha un doble valor, ya que es bien sabido que la producción de cemento Portland representa aproximadamente entre el 5 y 8 % del total de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial [6].

Según Safi *et al.* [7] el uso de las conchas de ostión como sustituto de la arena natural en la fabricación de mortero, genera como resultado que la fluidez es mejor que un mortero normal (cemento, arena y agua), exhibiendo, además, buena adherencia entre partículas de concha de ostión y cemento. De acuerdo con otros estudios realizados en los que se utilizaron conchas de ostión molidas como sustituto parcial del cemento en la elaboración de mortero, se registró que éstos resultaron con menor demanda de agua, obteniendo una resistencia adecuada, indicando que las conchas de ostión pueden utilizarse como remplazo del cemento en morteros y pueden mejorar su trabajabilidad [8]. En estudios realizados por Ruslan *et al.* [9] donde se utilizó concha de ostión como sustituto parcial del cemento en especímenes de concreto, se determinó la viabilidad de esta sustitución, siempre que se realice en un rango de 5% a 15%. Estos investigadores pudieron medir incrementos en la resistencia del concreto, argumentando que la cantidad de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) presente en la concha de ostión es similar al polvo

de la piedra caliza utilizada para la elaboración del cemento.

En este proyecto se analizan los cambios en la resistencia a la compresión simple y en la densidad de muestras de mortero elaborados con sustitución parcial del cemento Portland comercial, por concha de ostión del estado de Tabasco calcinada a diferentes temperaturas y añadida en distintos porcentajes. El objetivo de la investigación es incentivar el reciclaje de este material, evitar su acumulación excesiva en vertederos, promover la economía circular, disminuir el consumo de cemento Portland y contribuir al desarrollo de la construcción sustentable en el estado de Tabasco.

Estudios recientes como los llevados a cabo por Lin *et al.* [10], reportan que sustituir hasta un 20 % de arena con concha de ostión mejora la resistencia dinámica del mortero. Por su parte, Pinto Dabés Guimarães *et al.* [11], desarrollaron un mortero con 100 % de conchas de ostión, optimizando la pasta y lograron propiedades mecánicas comparables a las convencionales. Estos trabajos refuerzan la importancia de seguir explorando alternativas sostenibles en la fabricación de materiales de construcción.

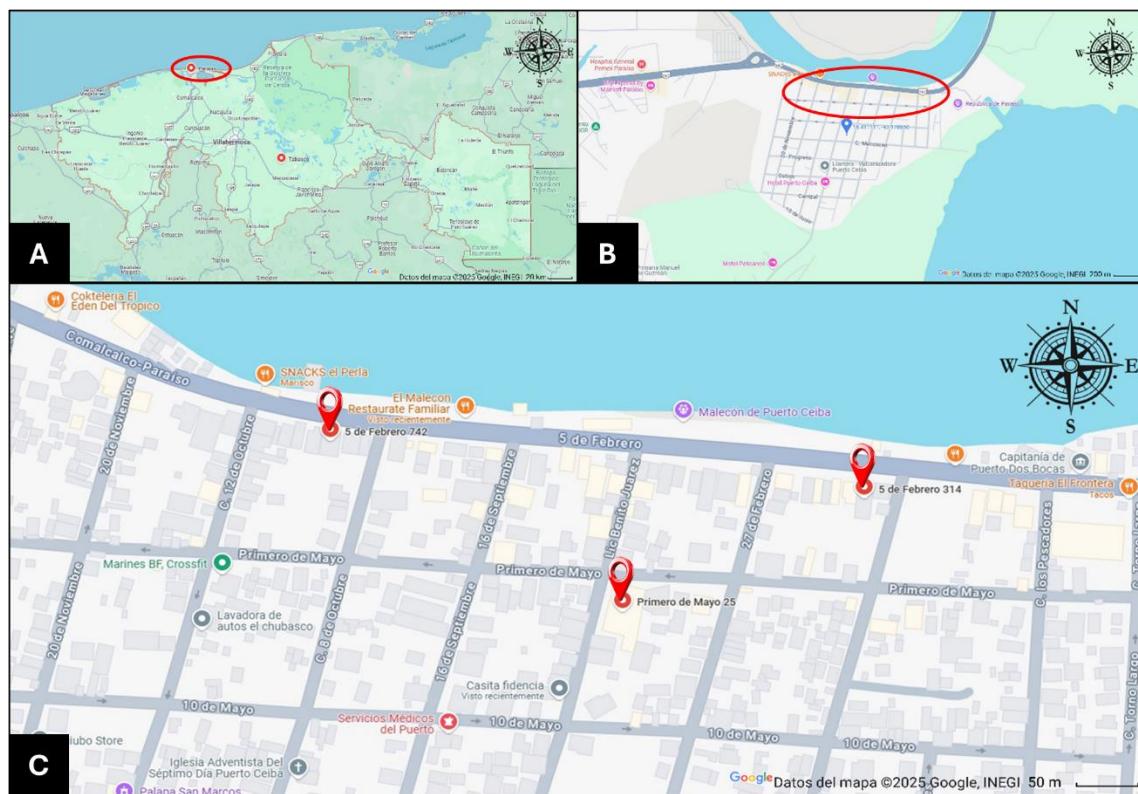
## METODOLOGÍA

**Recolección de conchas.** Las conchas de ostión fueron recolectadas en Puerto Ceiba, Paraíso, Tabasco, México, una de las zonas de mayor producción de ostión a nivel estatal. La **Figura 2** muestra la

ubicación del lugar donde fueron recolectadas.

**Limpieza en laboratorio.** Después de la recolección, las conchas se trasladaron al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), para ser limpiadas con agua y cepillos para remover todo tipo de contaminantes, así como los restos de materia **Figura 3**.

**Calcinado y trituración de las conchas de ostión.** Una vez limpias las conchas, se utilizó un horno *thermo scientific Lindberg Blue M*, que permitió alcanzar temperaturas de calcinado de hasta 1000 °C. El horno está ubicado en el Centro de Investigación de Ciencias y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), en el campus Chontalpa de la UJAT. Las conchas se separaron en cinco grupos, cada uno de ellos se calcinó por separado a las siguientes temperaturas: 150, 300, 500, 750 y 1000 °C. Posteriormente, cada grupo se molió manualmente con mortero de porcelana y se cribaron por malla con el fin de obtener un material lo más fino posible alcanzando un tamaño menor de 0.15 mm. Los materiales obtenidos como resultado de todo este proceso son biocementos. Para identificar cada uno de los biocementos se usó la siguiente nomenclatura: BC-temperatura de calcinado. Por ejemplo, para el biocemento calcinado a 500 °C se identificó como BC-500. En la **Figura 4** se muestra el horno y las conchas de ostión colocadas antes de ser calcinadas.



**Figura 2.** Ubicación del lugar de recolección de conchas de ostión. (a) Paraíso, Tabasco; (b) Puerto Ceiba, Paraíso, Tabasco; (c) puntos de recolección de las conchas de ostión [12].



**Figura 3.** Limpieza de conchas de ostión.

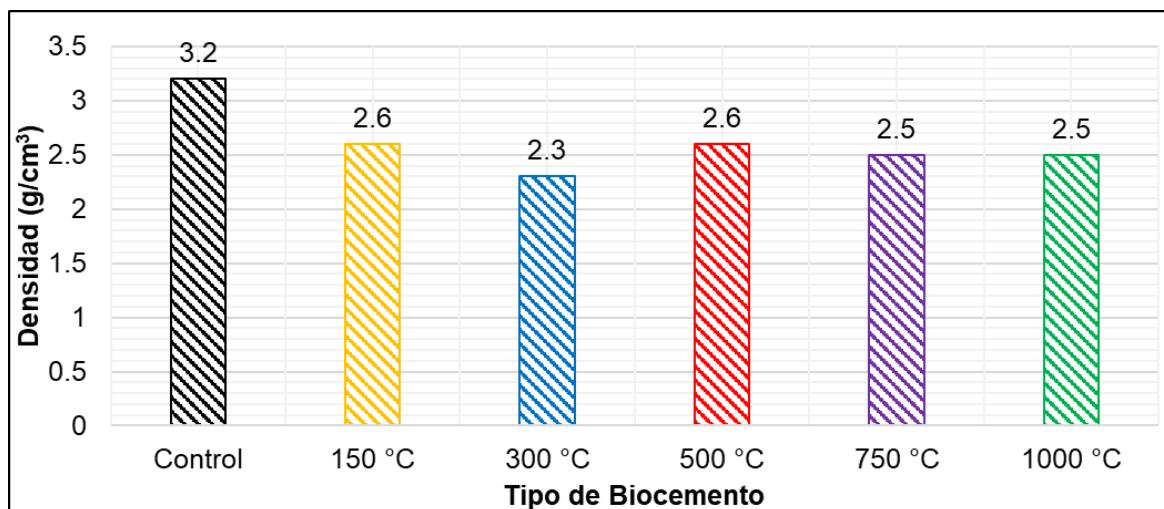


**Figura 4.** Horno de calcinación. (a) Horno Thermo Scientific Lindberg Blue M; (b) conchas de ostión antes de su calcinación.

## Caracterización

Una vez calcinadas las conchas, mediante el procedimiento de la Norma ASTM C188-17 *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement* [13], se determinó la densidad del cemento portland ordinario y de cada uno de los biocementos obtenidos a partir de la

calcinación de las conchas de ostión. Para el procedimiento de la determinación de la densidad, se utilizó como principales materiales y equipo a un matraz Le Chatelier, gasolina y 64 g de cemento. La **Figura 5** muestra las densidades obtenidas para el cemento Portland ordinario (control) y para cada uno de los biocementos.



**Figura 5.** Densidades de cementos.

**Sustitución del cemento Portland por biocementos.** El mortero utilizado para las pruebas tiene una proporción de cemento y arena de 1:4 (un gramo de cemento por cada 4 gramos de arena) con consistencia de  $170 \pm 5$  mm. La consistencia es la trabajabilidad de la mezcla de mortero, es decir, su habilidad para fluir. Esta consistencia depende fundamentalmente de la cantidad de agua. Todos los morteros fabricados en el presente estudio se mantuvieron en el mismo rango de trabajabilidad.

Como primer paso se elaboraron morteros para muestras de control de 1694 g de arena y 380 g de cemento. Los ensayos subsecuentes se dividieron en dos grupos: A y B.

GRUPO A. El objetivo fue identificar al biocemento con mejor rendimiento en cuanto a resistencia a la compresión. Para lograr lo anterior, se tomó como base la dosificación del mortero de control, para posteriormente realizar una sustitución del 10 % del cemento Portland por cada uno de los biocementos (**Tabla 1**). El porcentaje de sustitución utilizado fue elegido en base a recomendaciones de otros investigadores en trabajos de sustitución del cemento por compuestos similares a la concha de ostión. En particular, Ruslan *et al.* [9] reportaron que porcentajes de reemplazo entre 5 % y 15 % son técnicamente viables en aplicaciones no estructurales, mostrando incluso mejoras en la resistencia a compresión en ese rango. Por ello, se adoptó la proporción del 10 %,

considerada como representativa dentro de ese intervalo.

**Tabla 1.** Proporcionamiento de los morteros para el Grupo A de ensayos.

Tipo de cemento	Proporción de biocemento	Cemento / biocemento (%)	Arena (g)	Cemento (g)	Biocemento (g)
control	0	100/0	1694	342	0
BC-150	10	90/10	1694	342	38
BC-300	10	90/11	1694	342	38
BC-500	10	90/12	1694	342	38
BC-750	10	90/13	1694	342	38
BC-1000	10	90/14	1694	342	38

GRUPO B. Identificado el biocemento de mejor rendimiento, la siguiente etapa consistió en determinar el porcentaje óptimo de sustitución del cemento Portland; por lo que, tomando como referencia la dosificación del mortero de control, se realizaron sustituciones parciales (en distintos porcentajes) del cemento Portland por el biocemento ganador del Grupo A de ensayos.

Siguiendo lo establecido por la norma ASTM C109 [14]; para todos los morteros de esta investigación se elaboraron cuatro muestras cúbicas (5 cm) de mortero, mostradas en la **Figura 6**.



**Figura 6.** Muestras de mortero.

Una vez que fueron elaborados, las muestras de mortero fueron sometidos a un proceso de curado por inmersión en agua durante 28 días, para alcanzar la máxima resistencia a compresión a los 28 días de curado [14]. Una vez que las muestras de mortero alcanzaron la edad de curado, se sometieron a un ensayo de compresión axial con una prensa hidráulica eléctrica de la marca DAVI con capacidad de 40 toneladas. Los resultados de compresión para cada tipo de mortero representan el promedio aritmético de cuatro muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Elección del mejor biocemento.** La **Figura 7** muestra los resultados de los ensayos a compresión realizados a los morteros del Grupo A. Se observó una clara disminución de la resistencia de las muestras que contenían biocemento, destacando las muestras con BC-150, las cuales comparadas con la muestra de control mostraron una disminución en la resistencia del 29 %. Por su parte, las muestras elaboradas con BC-300, BC-500 y BC-750, mostraron una disminución de alrededor de 24 %. En lo que respecta a las muestras fabricadas con BC-1000, se registró una disminución de la resistencia de 16 %. Lo anterior permitió concluir que el biocemento BC-1000 fue el de mejor rendimiento.

Los descensos de la resistencia en las muestras de mortero elaborados con biocementos con respecto al mortero de control, se deben a que el cemento Portland es más reactivo que los biocementos analizados, por lo cual,

sustituir el cemento por concha calcinada reduce la cantidad de compuestos reactivos (como  $C_3S$  y  $C_2S$ ) responsables de las reacciones de hidratación. En general, se observó que a partir de la temperatura de calcinado de 150 °C la resistencia aumentó levemente conforme la temperatura de calcinado aumentó. Este comportamiento se debió a que el calcinado genera compuestos reactivos, que van mejorando las reacciones químicas en los morteros. En las conchas calcinadas a 1000 °C, todo el carbonato de calcio se ha transformado en óxido de calcio (CaO) [4]. Este compuesto es más reactivo que otras formas de calcio presentes en la concha. Sin embargo, su reactividad sigue siendo inferior a la del cemento Portland comercial, lo que explica que los morteros con este biocemento presentaran una resistencia menor en comparación con el mortero de control. Los resultados de resistencia a la compresión mostraron que el biocemento BC-1000 mostró el mejor rendimiento, por lo que fue el biocemento elegido para continuar la siguiente fase de ensayos.

**Determinación del porcentaje óptimo de sustitución.** Debido a su mejor rendimiento en cuanto a la resistencia a la compresión, se utilizó al biocemento calcinado a 1000 °C para definir el porcentaje óptimo de sustitución de cemento por biocemento. Para ello se realizaron sustituciones parciales en diferentes proporciones en peso seco. La **Tabla 2** muestra la dosificación de los morteros analizados.

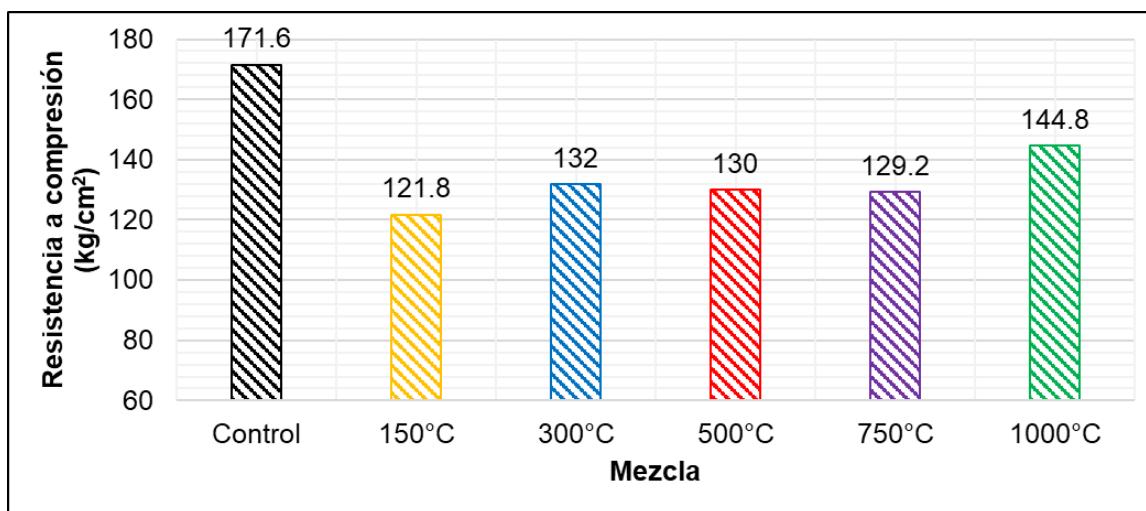


Figura 7. Resistencia a la compresión con sustitución parcial de 10%.

La **Figura 8** muestra los resultados del ensayo a compresión de las muestras del Grupo B. Se observó que, entre los morteros con biocemento, el porcentaje de sustitución con mayor resistencia fue de 10 %. Lo anterior concuerda con las observaciones realizadas por Ruslan *et al.* [9], quienes concluyeron que los porcentajes óptimos de uso de la concha de ostión en especímenes de concreto oscilan en un rango de 5 % a 15 %.

**Tabla 2.** Proporcionamiento de los morteros con biocemento BC-1000.

Proporción de biocemento 1000 °C (%)	Cemento / biocemento (%)	Arena (g)	Cemento (g)	Biocemento (g)
0 (control)	100/0	1694	342	0
2	98/2	1694	335	7
4	96/4	1694	328	14
6	94/6	1694	321	21
10	90/10	1694	308	34
15	85/15	1694	291	51
20	80/20	1694	274	68
30	70/30	1694	239	103

En la **Figura 8** se observa que añadir el biocemento al 2 % disminuyó la resistencia del mortero en un 32 %. A partir de este punto, el aumento del porcentaje de biocemento mejoró la resistencia paulatinamente hasta llegar al 10 % de contenido, a partir de este punto la resistencia empezó a bajar.

Como se aprecia en la **Figura 8**, la resistencia a compresión se comporta de forma diferente según el porcentaje de biocemento usado. Por eso, se identificaron tres zonas con tendencias claras. Esta clasificación se basa tanto en los resultados obtenidos en este estudio como en lo que han reportado otros trabajos similares [15 y 16]. A continuación, se explica cada una de estas zonas:

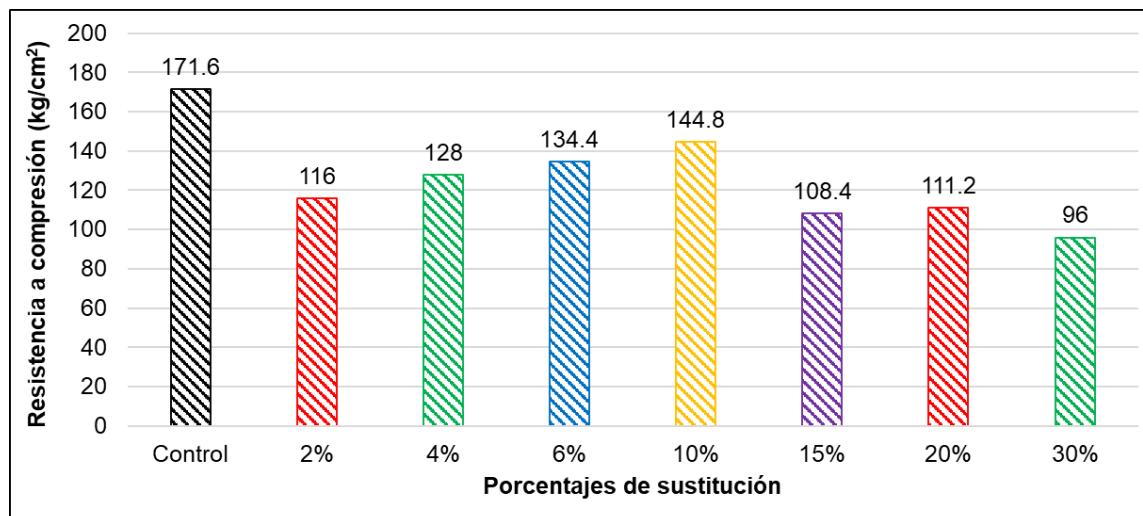
**Zona de porcentajes bajos de sustitución (2 % a 6 %).** La resistencia disminuye debido a la reducción de los compuestos activos del cemento, como los silicatos de

calcio, responsables de la formación de productos hidratados que otorgan resistencia. Además, en bajas concentraciones el óxido de calcio (CaO) proveniente de la concha calcinada puede no reaccionar completamente, contribuyendo mínimamente al desarrollo de la resistencia;

*Zona de porcentajes de sustitución media (6 % a 10 %).* La resistencia empieza a mejorar debido a que aumentar la cantidad de concha calcinada puede favorecer reacciones entre el CaO y compuestos como la sílice amorfa presente en la mezcla, formando silicatos de calcio hidratados adicionales que mejoran la resistencia. En estas cantidades la concha de ostión puede reducir la porosidad y densificar la matriz del mortero, resultando en una mayor resistencia a la compresión.

*Zona de porcentajes de sustitución mayores (mayor a 10 %).* Sustituciones elevadas introducen más material que no participa en las reacciones de hidratación, disminuyendo la cantidad de productos que aportan resistencia. Además, un exceso de CaO puede llevar a la formación de hidróxido de calcio en cantidades que no contribuyen significativamente a la resistencia y pueden aumentar la porosidad.

El 10 % de contenido de BC-1000 representó el punto máximo de resistencia, es decir, este porcentaje es el óptimo de sustitución. El 10 % es un punto de equilibrio en los morteros, cualquier incremento en el biocemento ocasiona una disminución de la resistencia.



**Figura 8.** Resistencia a la compresión con sustitución parcial utilizando biocemento calcinado a 1000 °C.

## CONCLUSIONES

Los ensayos experimentales permiten concluir lo siguiente:

- El proceso de calcinado de las conchas de ostión produce una disminución de la densidad en los biocementos resultantes debido a que se queman las proteínas, polisacáridos y lípidos que mantienen unidos a los minerales, además de que el óxido de calcio (CaO) que se genera es menos denso que el ( $\text{CaCO}_3$ ).
- De todos los biocementos analizados, aquellos calcinados a 1000 °C fueron los que mostraron mejor resistencia a la compresión simple. Esto se debió a que este tipo de biocemento posee la mayor cantidad de óxido de calcio. Aun así, su resistencia es menor que la resistencia del mortero de control, esto se debe a que el cemento comercial es más reactivo y sustituirlo parcialmente por el biocemento BC-1000 genera una disminución de las reacciones de hidratación.
- Al utilizar el biocemento BC-1000 el porcentaje óptimo de sustitución del cemento comercial fue 10% en peso seco.
- Es factible sustituir el cemento comercial por biocemento BC-1000 hasta en un 10%, siempre que se utilice en aplicaciones no estructurales, como plantillas, pisos de terrazas, elementos prefabricados de ornato, soportes temporales para varillas (gallitos), etc.

- El reciclado de la concha de ostión como biocemento contribuirá a reducir su acumulación excesiva y aumentando el ciclo de vida de este material.

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar otras propiedades del mortero elaborado con biocemento, como la absorción de agua, durabilidad, retracción y su comportamiento frente a agentes agresivos. También sería útil analizar su aplicación en elementos constructivos reales y comparar sus costos frente a los materiales tradicionales. Continuar con este tipo de estudios es importante para el sector de la construcción, ya que permite avanzar en el aprovechamiento de recursos naturales disponibles y en el desarrollo de materiales más sostenibles.

## REFERENCIAS

- [1] CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca) (2024). Ostión, recurso importante para miles de pescadores en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/ostion-recurso-importante-para-miles-de-pescadores-en-mexico>. Fecha de consulta 2 de septiembre de 2024
- [2] Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero (2021). Ostión Ranking Nacional. <https://campotabasco.gob.mx/?Pesquero=ostion>. Fecha de consulta 2 de septiembre de 2024

- [3] Mora-Ortiz R.S, Del Angel-Meraz E, Díaz S.A, Munguía-Balvanera E, Magaña-Hernández F, Alavez-Ramírez J et al. (2023). The use of pre-wetting to improve the mechanical behavior of masonry mortar elaborated with crushed oyster shell, *Sustainability*. 16(1) 199
- [4] De los Santos C.R, López Rodríguez A.S, Sifuentes Gallardo P, Hernández Rivera M.Á, Rivera Trejo J.G.F, Díaz Flores L.L (2016). Reuse of 'Cassostrea virginica' oyster shells to obtain a mortar binder from their milling and calcination, *Revista Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. 5(12) 38-48
- [5] Neville A.M (1995). *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México
- [6] Jaimes Guio C.R, Montaño Saavedra L.V (2022). *Ánalisis ambiental de los efectos del uso del cemento basado en estudios a nivel mundial*. Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia
- [7] Safi B, Saidi M, Daoui A, Bellal A, Mechekak A, Toumi K (2015). The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM), *Construction and Building Materials*. 78 430-438
- [8] Lertwattanaruk P, Makul N, Siripattarapraprat C (2012).
- [9] Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering, *Journal of Environmental Management*. 111 133-141
- [10] Ruslan H.N, Muthusamy K, Syed Mohsin S.M, Jose R, Omar R (2022). Oyster shell waste as a concrete ingredient: A review, *Materials Today: Proceedings*. 48 713-719
- [11] Lin Y, Li J, Wang J, Zhang Y, Liu X (2024). Dynamic properties of mortar with oyster shell sand replacement, *Scientific Reports*. 14(1) 28500
- [12] Pinto Dabés Guimarães A.C, Nouailletas O, Perlot C, Grégoire D (2024). Granular skeleton optimisation and the influence of the cement paste content in bio-based oyster shell mortar with 100 % aggregate replacement, *Sustainability*. 16(6) 2297
- [13] Google Maps (2024). Paraíso, Tabasco, México. <https://maps.app.goo.gl/9oo3dTUbbjDELFt7>. Fecha de consulta 15 de septiembre de 2024
- [14] ASTM C188 (2025). Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- [14] ASTM C109-21 (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM

International. West Conshohocken,  
PA, USA

- [15] Palacios Martínez J.P (2019). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de mortero con reemplazo parcial de cemento por material fino proveniente de conchas de almejas. Universidad de Valparaíso, Chile.  
<https://repositoriobibliotecas.uv.cl/serveuv/api/core/bitstreams/f8fadb6a-c606-40a9-b7f0-9b67e31579cb/content>
- [16] Vaca Pillajo J.S (2022). Análisis de la resistencia a compresión del concreto con reemplazo parcial del cemento por osamentas de animales calcinadas y pulverizadas. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23505>

