UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

JEEOS

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability

2026



Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2026-050410175100-102. ISSN: 2448-8186

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 10, No. 3, Año 2026, es una publicación continúa 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. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2026-050410175100-102, 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, 15 de diciembre 2026.

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

JEEOS
UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Transformación material en la vivienda chontal, caso de estudio: Huimango, Cunduacán, Tabasco 1-12
Campos-de Dios P.C.[1*], Govea-Ek A.[1]

Inhibición de corrosión en acero API 5L-X52 mediante extracto etanólico de *Tradescantia spathacea Sw* 13-25
Estrada-Hernández G. V., Figueroa-Ramírez S.J.[*], Sierra-Grajeda J.M.T., Santis Espinosa L.F., Benavides O., De la Cruz-May L.

Efecto de las nanoparticulas metálicas sobre el crecimiento de la microalga *Coelastrella sp*. para la producción de biocombustible 26-37
Santis-Espinosa L.F[1*], Figueroa-Ramírez S.J.[1], Vargas-Estrada L.[2], López-Vidaña E.C.[3]

Influence of dopant material on a silicone polymer subjected to low-pressure air plasma treatments 38-52
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Paredes-Olguín M.[2], Avelar-Domínguez F.[1], Gadea-Pacheco J.L.[1], Sandoval-González A.[3]

Cambio en la producción de potencia empleando Na_2SO_4 en el cátodo de una celda de combustible microbiana 53-60
Fuentes-Albarrán M. del C.[1]*, Alarcón-Hernández F.B.[1], Cornejo-Tapia C.P.[1], Sandoval-González A.[2]

Estudio exploratorio del contenido de etanol en la pulpa de la T*hevetia peruviana* (Pers.) K. Schum en Yucatán, México 61-79
Koh-Echeverría L.E.[1], Amado-Méndez K.[2], Díaz-Ballote, L.F.J.[2], Herrera-Zamora, D.M.[2]*

Determinación de carbohidratos por HPLC: comparación de detectores UV-Vis *vs* índice de refracción 80-93
Fernández-Orozco I.V.[1], Grijalva-Haro M.I.[2], Madrigal-Diaz S.C.[1], Ojeda-Morales M.E.[1], Díaz-Reyes C.C.[1], García-López S.[1], Juárez-Zirate S.J.[3]*

Efecto de un plasma pulsado de aire en las propiedades superficiales de caucho butílico 94-103
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Garay-Galicia J.A.[1], Sandoval-Gonzáles A.[2]

Estudio del tiempo de fraguado en pastas de cemento con sustitución parcial por biocemento de ostión 104-116
Segundo-Díaz T. de J.[1], Mora-Ortiz R.S.[1]*, Díaz-Alvarado S.A.[1], Ramón-de los Santos C. [2]

Estudio teórico de un captador solar de aire con y sin material de cambio de fase 117-128
Álvarez-Alor B.[1*], Cruz-Valdez J. A. [2], Montalvo D. [3], López-Santos F.[1], Alvarado-Méndez P. E.[4], Zetina-Ríos I. I.[5].

Journal of Energy, Engineering, Optimization and Sustainability

Segundo-Díaz, T. de J.[1]
Vol.10 Núm. 3: 2026 pág. 104-116

Estudio del tiempo de fraguado en pastas de cemento con sustitución parcial por biocemento de ostión

Setting time study of cement pastes with partial replacement by oyster shell biocement

Segundo-Díaz T. de J.[1], Mora-Ortiz R.S.[1]*, Díaz-Alvarado S.A.[1], Ramón-de los Santos C. [2]

[1]División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km 1. CP. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.
[2]Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Carretera vecinal Comalcalco-Paraíso Km 2. Ra. Occidente 3ra. Sección, C.P. 86651, Comalcalco, Tabasco, México.
*rene.mora@ujat.mx

Artículo Científico
Publicado: 15 de diciembre 2026

RESUMEN

En esta investigación se analizó el efecto del biocemento elaborado a partir de concha de ostión en los tiempos de fraguado de pastas de cemento. Las conchas fueron calcinadas a diferentes temperaturas (150, 300, 500, 750 y 900 °C), molidas manualmente y tamizadas hasta pasar la malla ASTM No. 100 (0.150 mm). De estos tratamientos de calcinado se obtuvieron cinco tipos de biocemento (uno para cada temperatura). Posteriormente, se prepararon pastas de cemento donde se sustituyó el 10 % en peso del cemento Portland comercial por cada tipo de biocemento además de una mezcla de control sin sustitución. El tiempo de fraguado inicial y final se midió utilizando el aparato de Vicat. Todas las mezclas se elaboraron con una fluidez de 170 ± 5 mm para mantener condiciones similares de trabajabilidad. Los resultados mostraron que el fraguado se retrasa con el uso de biocemento calcinado a baja temperatura, mientras que a mayor temperatura de calcinación el fraguado tiende a acelerarse. La mezcla con biocemento calcinado a 900 °C presentó tiempos similares a la mezcla de control, lo cual puede asociarse con una mayor formación de óxido de calcio, de acuerdo con lo reportado en estudios previos sobre conchas de ostión calcinadas. Los resultados permitieron concluir que el biocemento de concha de ostión, calcinado a 900 °C y utilizado como sustituto parcial del cemento en un 10 %, puede utilizarse en mezclas de cemento sin afectar significativamente los tiempos de fraguado, los cuales resultaron comparables a los del cemento convencional.
Palabras clave: biocemento; concha de ostión; fraguado inicial; fraguado final; Vicat.

ABSTRACT

This study analyzed the effect of biocement made from oyster shells on the setting times of cement pastes. The shells were calcined at different temperatures (150, 300, 500, 750, and 900 °C), manually ground, and sieved to pass through ASTM No. 100 mesh (0.150 mm). These calcination processes produced five types of biocement, one for each temperature. Cement pastes were then prepared by replacing 10% by weight of commercial Portland cement with each type of biocement, along with a control mixture without substitution. The initial and final setting times

CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

were measured using the Vicat apparatus. All mixtures were prepared with a flow value of 170 ± 5 mm to ensure similar workability conditions.
The results showed that setting was delayed when using biocement calcined at lower temperatures, while higher calcination temperatures tended to accelerate the setting process. The paste with biocement calcined at 900 °C showed setting times similar to those of the control mixture, which may be associated with greater formation of calcium oxide, according to previous studies on calcined oyster shells. Based on the results, it was concluded that oyster shell biocement, calcined at 900 °C and used as a 10% partial replacement of cement, can be used in cement pastes without significantly affecting setting times, which were found to be comparable to those of conventional cement.
Keywords: biocement; oyster shell; initial setting; final setting; Vicat.

INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los primeros 10 lugares a nivel mundial en la producción de cultivo de ostión lo que en el año 2023 representó 20,237.68 toneladas de este molusco [1]. El estado de Tabasco es el segundo productor a nivel nacional de este alimento marino, aportando a la producción nacional un 24.7 %, dejando ingresos por año de 13,674 millones de pesos [2]. Lo anterior deja en evidencia que el cultivo de ostión representa una actividad económica de profundo impacto social en la entidad. Del peso total de ostión, solo el 10 % es aprovechable, ya que el 90 % de su peso es debido a su concha, la cual es desechada [3]. Debido a que las conchas de ostión (COs) no son biodegradables, se acumulan por toneladas en basureros municipales y predios urbanos afectando directamente al medio ambiente y a la salud pública [4]. Uno de los problemas importantes que se generan con la acumulación excesiva de COs, es que, debido a su forma cóncava, almacenan agua de lluvia en ellas y favorecen la reproducción de mosquitos, ayudando a la proliferación de enfermedades como el Dengue y Chikungunya, poniendo en riesgo la salud de la población [3]. Otro de los problemas que se genera con la falta de reciclaje de la COs está relacionado con la descomposición de los restos orgánicos remanentes en las conchas, ya que se genera mal olor al descomponerse lo que a su vez atrae a fauna nociva como ratas, moscas y otros insectos. El reciclado de la COs es un tema importante en el estado de Tabasco, y debe involucrar al gobierno, así como a la sociedad en general.

Por otro lado, el cemento Portland es el principal insumo de construcción a nivel mundial [5], lo que lo convierte, sin ninguna duda, en un material muy importante en el desarrollo de la sociedad moderna; lamentablemente en su producción se generan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), [6], lo que impacta negativamente al medio ambiente. En la nueva ingeniería de la construcción se tiene el compromiso de producir materiales de calidad, a bajos costos y duraderos, pero siempre tomando en cuenta la sustentabilidad del medio ambiente. Como parte de este compromiso, se han desarrollado alternativas sustentables al uso del cemento Portland. Una de estas alternativas son los biocementos [7]. Dentro de los biocementos más prometedores están aquellos producidos a partir de la concha de ostión calcinada y triturada [8]. Estudios previos han

CC BY NC SA
Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

evaluado el uso de concha de ostión calcinada como sustituto parcial del cemento, reportando que porcentajes cercanos al 10 % permiten incorporar este residuo sin afectar de forma importante la trabajabilidad de las mezclas [9 y 10].

En la actualidad los biocementos se utilizan como sustituto parcial del cemento Portland comercial [11]. Un aspecto importante que no ha sido atendido debidamente en el desarrollo de estas tecnologías ha sido el efecto de los biocementos en el tiempo de fraguado de las mezclas cemento-biocemento. Debido a que el tiempo de fraguado es el período que tarda una mezcla en pasar de un estado plástico (trabajable) a un estado rígido o endurecido, el tiempo de fraguado es un aspecto clave en el diseño, la planificación y la ejecución de proyectos de construcción exitosos. Por tanto, en esta investigación se analizan los cambios en los tiempos de fraguado de mezclas de cemento Portland comercial y biocemento generado a partir de conchas de ostión "*Crassostrea virginica*" procedentes del estado de Tabasco, México. El objetivo de este documento es contribuir en la caracterización de los biocementos procedentes de la concha de ostión, incentivar el uso de este tipo de biocemento y al mismo tiempo, ayudar al medio ambiente reduciendo el consumo de cemento comercial y la acumulación excesiva de conchas de ostión en vertederos.

METODOLOGÍA

Enfoque y método de investigación. Esta investigación tuvo un enfoque experimental y cuantitativo, ya que se realizaron pruebas de laboratorio para observar cómo influye el biocemento de concha de ostión en el tiempo de fraguado de pastas de cemento. Se analizaron seis mezclas diferentes: una mezcla de control (solo cemento Portland) y cinco mezclas con 10 % de sustitución de cemento por biocemento calcinado a diferentes temperaturas (150, 300, 500, 750 y 900 °C). Todas las mezclas se prepararon con las mismas condiciones de fluidez. Los tiempos de fraguado se midieron siguiendo la norma ASTM C191 [12]. Adicionalmente, y con el objetivo de complementar el análisis del comportamiento del biocemento se determinó la resistencia a compresión simple a los 28 días de curado por inmersión en agua para todas las mezclas. Estas pruebas se realizaron en tres cubos de pasta de cemento de 5 cm por lado, preparados y ensayados según el procedimiento descrito en la norma ASTM C109 [13].

Instrumentos de recolección de datos. Para recolectar los datos del tiempo de fraguado se utilizó el aparato de Vicat, el cual permite medir de forma precisa el momento en que la pasta empieza a endurecer (fraguado inicial) y cuando alcanza una rigidez mayor (fraguado final). También se utilizó un cronómetro, una regla metálica, una espátula, un molde troncocónico, una placa de vidrio y una mezcladora de mortero.

Para la prueba de resistencia a compresión simple se utilizaron moldes cúbicos de bronce de 5 cm, una prensa hidráulica eléctrica con capacidad de 120 toneladas de la marca DAVI, una regla para verificar las dimensiones, y un recipiente de curado con agua a temperatura controlada.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

También se utilizó un termómetro digital de lectura directa para registrar la temperatura de la pasta durante el ensayo de fraguado. La medición se realizó de forma puntual en cada intervalo de lectura de la aguja de Vicat.

Justificación de variables y número de muestras. La variable independiente en este estudio fue la temperatura de calcinación del biocemento (150, 300, 500, 750 y 900 °C), mientras que la variable dependiente fue el tiempo de fraguado inicial y final de la mezcla. El porcentaje de sustitución del cemento se mantuvo constante en 10 % en peso, ya que estudios anteriores han demostrado que este porcentaje es efectivo y no compromete la manejabilidad de la mezcla [9 y 10]. Para cada tipo de pasta se elaboraron tres muestras independientes, tanto para la medición de los tiempos de fraguado como para la resistencia a compresión simple. Esto permitió calcular promedios y desviaciones estándar para cada ensayo. Adicionalmente, para los resultados de compresión simple se determinó el rango relativo.

Recolección de concha de Ostión. Se recolectaron conchas de ostión (COs) en distintas zonas de Paraíso, Tabasco (**Figura. 1**), tales como: Puerto Ceiba (18.41374, -93.17925), El Bellote (18.42562, -93.14961) y Chiltepec (18.42733, -93.11204) [14].

Finalizada la recolección, las conchas se trasladaron a las instalaciones del laboratorio de materiales de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



Figura 1. Ubicación de las zonas de recolección en Paraíso, Tabasco, México [14].

Limpieza de la Cos. Posterior a la recolección, se inició con la limpieza de la concha de ostión con cepillo y agua corriente, sin uso de jabón o solventes, para remover contaminantes que podrían estar adheridos, como restos orgánicos, carbón, suelo, o sal (**Figura. 2**).

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630



Figura 2. Limpieza de COs.

Calcinado, triturado y tamizado de la Cos. El siguiente paso fue separar cinco distintas porciones de aproximadamente 1 kilogramo de COs. Cada porción se calcinó por separado a una única temperatura: 150 °C, 300 °C, 500 °C, 750 °C y 900 °C. Para el calcinado a 150 °C se utilizó un horno de la marca DAVI (**Figura. 3A**), ubicado en el Laboratorio de materiales de la DAIA, mientras que para alcanzar las temperaturas mayores se utilizó un horno Thermo Scientific Lindberg Blue M, el cual está ubicado en el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), en el campus Chontalpa de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (**Figura. 3B**).

En todos los casos, la rampa de calentamiento y enfriamiento fue de 10 °C/min, con un tiempo de permanencia de 3 horas a la temperatura objetivo. El proceso se realizó en atmósfera de aire. Después del calcinado, las muestras se almacenaron en recipientes cerrados para reducir su exposición a la humedad ambiental y al CO_2.

Una vez finalizado el calcinado de cada grupo de COs, se utilizó un mortero de porcelana para triturar a cada grupo de conchas calcinadas hasta que el material fuese capaz de pasar la malla ASTM número 100 (abertura de 0.150 mm) (**Figura. 3D**).

Como resultado de todo el proceso antes descrito, se obtuvieron cinco tipos de concha triturada, las cuales recibieron el nombre de biocementos: BC-150, BC-300, BC-500, BC-750 y BC-900.

Determinación del tiempo de fraguado. Para la determinación de la influencia de los biocementos en el tiempo de fraguado de las pastas de cemento, primero se elaboró una pasta solo de cemento comercial (500 g), la cual funcionó como muestra de control. Posteriormente, se elaboraron

CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

pastas por separado para cada uno de los biocementos, en estas pastas el cemento comercial fue sustituido en un 10 % en peso por cada biocemento. Es decir, cada pasta con biocemento poseía 450 g de cemento comercial y 50 g de un tipo de biocemento.

El fraguado es un proceso químico mediante el cual, como resultado de su reacción con el agua, el cemento pasa de un estado plástico a uno sólido [15]. Hay dos tipos de fraguado, el inicial y final. El fraguado inicial es el tiempo que transcurre desde el primer contacto del cemento con el agua, hasta que la pasta comienza a endurecerse. Mientras que, el fraguado final es el tiempo que transcurre desde que termina el fraguado inicial hasta que se presenta un endurecimiento apreciable. Para la determinación de los tiempos de fraguado se utilizó el procedimiento descrito en la norma ASTM C191 [12]. El equipo necesario está compuesto por el aparato de Vicat, aguja de 1 mm de diámetro, molde troncocónico, cronómetro y placa cuadrada de vidrio de 100 mm (**Figura. 4**).



Figura 3. Proceso de preparación del biocemento a partir de concha de ostión: (A) calcinado en horno de laboratorio; (B) calcinado en horno industrial; (C) trituración manual; (D) tamizado del material.

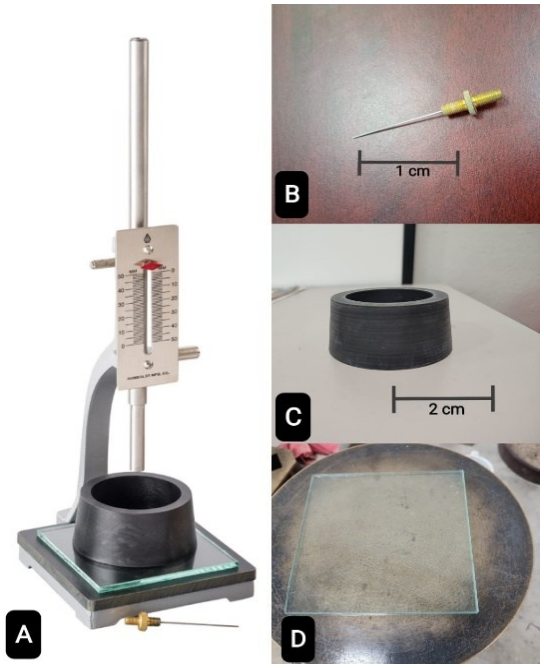


Figura 4. Componentes del equipo utilizado para el ensayo de fraguado con el aparato de Vicat: (A) aparato de Vicat; (B) aguja de Vicat; (C) molde troncocónico; (D) placa de vidrio.

Para la determinación del tiempo de fraguado a todas las mezclas se les proporcionó el agua suficiente para alcanzar la misma fluidez de 170 ± 5 mm. La fluidez, también conocida como trabajabilidad, es la capacidad que tiene una mezcla de cemento para ser fácilmente manejada y

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

colocada. Este parámetro está directamente relacionado con la cantidad de agua presente en la pasta, por lo que funciona como un buen indicador de su consistencia. Su determinación se realiza conforme a lo establecido en la norma ASTM C1437 [16].

Debido a que todas las pastas se ajustaron a una fluidez de 170 ± 5 mm, la cantidad de agua utilizada varió entre mezclas. Por ello, en la **Tabla 1** se muestra el agua total empleada y la relación agua/cemento de cada pasta.

Tabla 1. Dosificación de las pastas y relación agua/cemento.

Mezcla	Cemento (g)	Bio cemento (g)	Agua (g)	Relación a/c
Control	500	0	190	0.380
P-150	450	50	198	0.440
P-300	450	50	201	0.447
P-500	450	50	195	0.433
P-750	450	50	192	0.427
P-900	450	50	191	0.424

El mayor consumo de agua se presentó para las mezclas P-150, P-300 y P-500. A partir de P-750, la cantidad de agua disminuyó y se acercó al valor de la pasta de control. Este comportamiento sugiere que los biocementos calcinados a menor temperatura son poco reactivos, comportándose como un polvo requiriendo más agua para lubricar las partículas, mientras que, a mayor temperatura, aumenta su reactividad y su comportamiento se vuelve más cercano al del cemento Portland.

Una vez que las pastas de cemento alcanzaron la fluidez necesaria se introdujeron por la parte inferior del molde llenándolo por completo, seguidamente se colocó una placa cuadrada de vidrio en la base del molde y se procedió a enrazar la parte superior (**Figura. 5A**).

Posteriormente, la muestra se colocó en una cámara de humedad constante (95 ± 5 %) dejándola reposar antes de tomar las lecturas correspondientes con la aguja de Vicat. La primera lectura se tomó 15 minutos después del primer contacto del cemento con el agua. La determinación del tiempo de fraguado consiste en introducir la aguja de Vicat (2.5 cm de longitud) totalmente en la pasta de cemento cada 15 minutos y registrar el tiempo en el que la pasta comienza a oponerse al avance de la aguja.

Esta oposición se registra mediante una regleta de graduación que el equipo de Vicat posee. El ensayo termina cuando la aguja de Vicat no puede penetrar más de 0.5 mm en la pasta.

Adicionalmente, en cada lectura realizada con la aguja de Vicat se midió la temperatura de la pasta, utilizando un termómetro digital insertado en una muestra gemela (extraída de la misma mezcla, con igual relación agua/cemento y condiciones). Aunque la norma ASTM C191 [12] no

CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

requiere esta medición, se consideró importante realizarla ya que la temperatura influye directamente en la velocidad de hidratación del cemento y, por lo tanto, en los tiempos de fraguado.

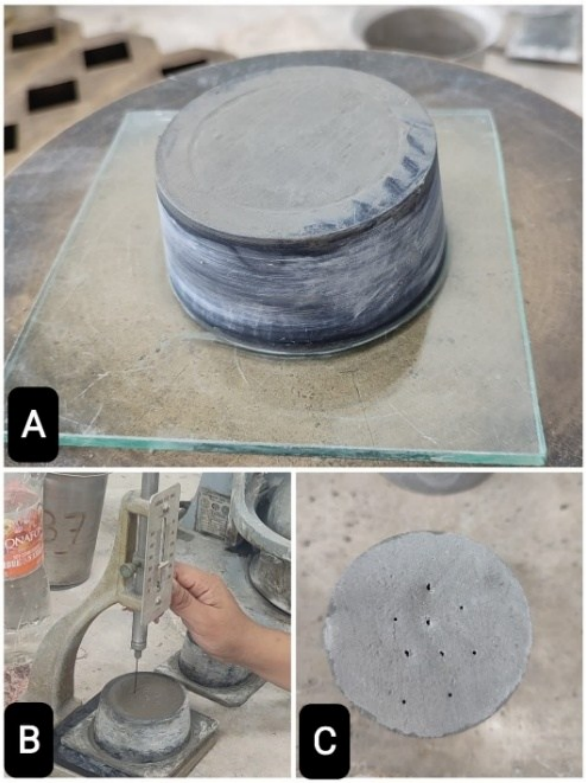


FIGURA 5. (A) pasta de cemento colocada en el molde troncocónico; (B) aplicación del aparato de Vicat en la toma de lecturas; (C) estado de la pasta de cemento después del ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan a continuación corresponden al promedio aritmético de tres muestras independientes. La desviación estándar fue representada mediante barras de error en cada gráfica. En el caso de los ensayos de compresión simple, se muestran en los gráficos los valores del rango relativo, calculado conforme a la norma ASTM C109 [13], lo cual permitió evaluar la uniformidad entre probetas. Dicha norma establece que el rango no debe superar el 8.7 % del promedio. Estos parámetros refuerzan la confiabilidad de los resultados al comparar el desempeño de las pastas con biocemento frente a la mezcla de control.

En las **Figuras 6**, **7** y **8** se muestran respectivamente, los cambios en el tiempo de fraguado inicial y final de las pastas de cemento (junto con la temperatura máxima registrada durante cada ensayo) así como los resultados de los ensayos a compresión simple. En general se observa que, con respecto a la pasta de control, en todas las pastas con biocemento se registró un aumento en ambos tiempos de fraguado. Este aumento del tiempo de fraguado se acompañó con una

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

disminución de la temperatura máxima de la pasta. En ambos tiempos de fraguado se observó que los biocementos calcinados a menor temperatura mostraban mayor tiempo de fraguado y menor temperatura durante este proceso. De esta manera, se observó que, con respecto al control, cuando se añadió biocemento calcinado a 150 °C, los fraguados inicial y final aumentaron 26 y 31 minutos, respectivamente; y su temperatura disminuyó alrededor de un 11 %.

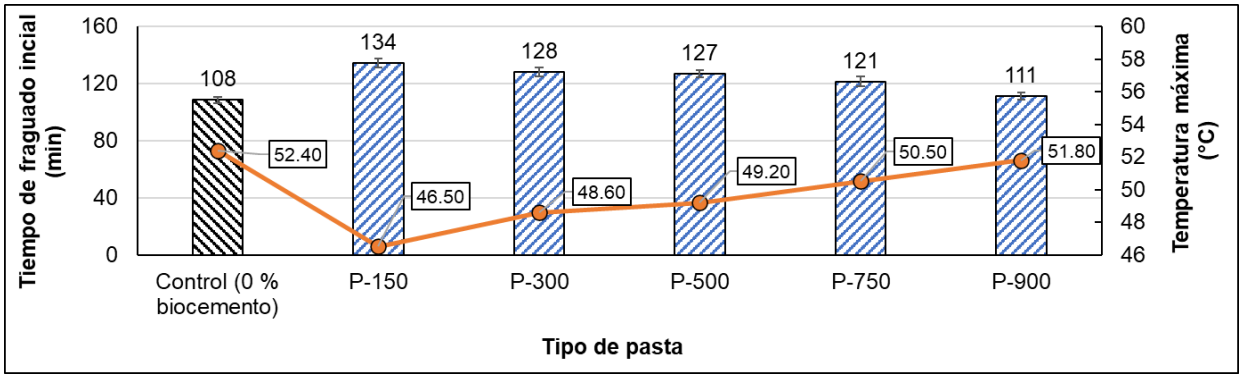


FIGURA 6. Tiempos de fraguado inicial y temperatura máxima de las pastas durante el ensayo.

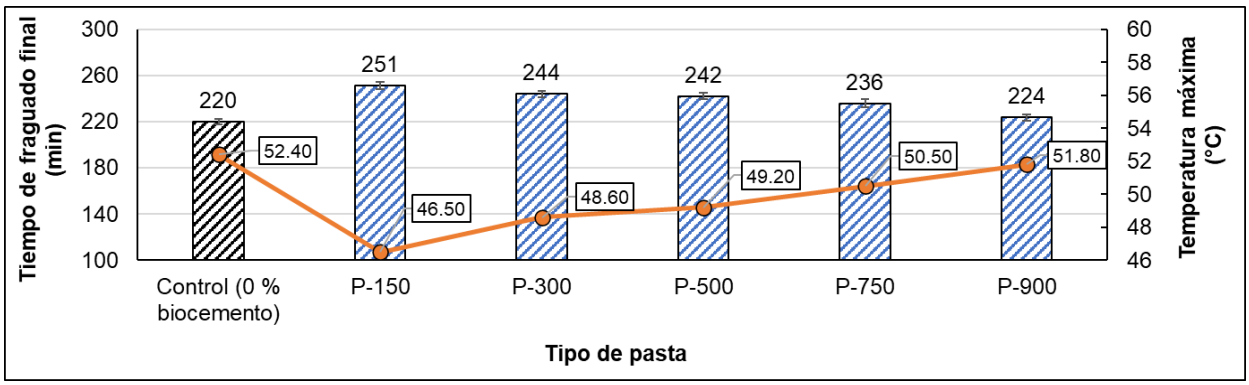


FIGURA 7. Tiempos de fraguado final y temperatura máxima de las pastas durante el ensayo.

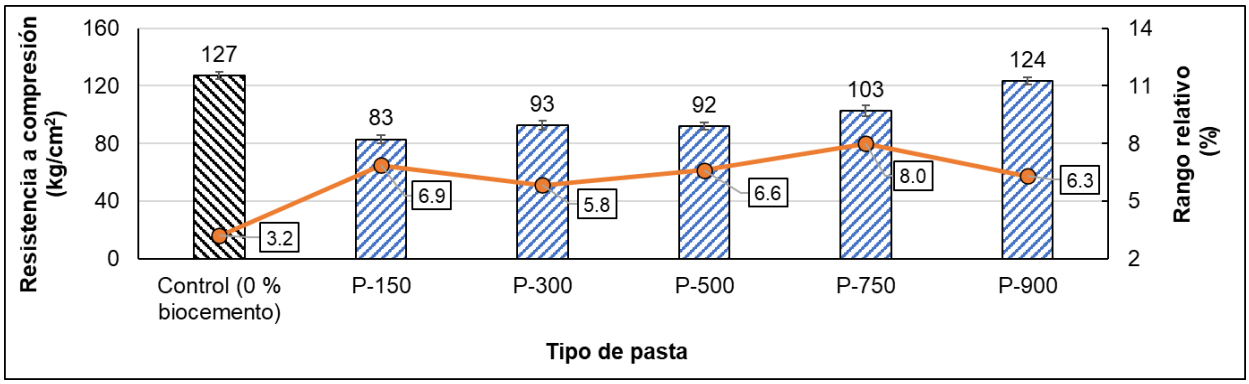


FIGURA 8. Resistencias a la compresión simple y rango relativo de las pastas.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

A medida que la temperatura de calcinación se aumentó, los tiempos de fraguado se fueron reduciendo y la mezcla se calentó más. La pasta con biocemento calcinado a 900 °C (P-900) fue la que mostró los tiempos de fraguado más cercanos a la muestra de control. Esto sugiere que el biocemento poco calcinado tiene baja reactividad, por lo que enfría a la mezcla y retrasa el fraguado.

Los resultados muestran que en las pastas con biocemento calcinado a temperaturas ≥ 750 °C se libera calor de manera similar a la pasta de control (≈ 51 °C), y los tiempos de fraguado se acercan a los exhibidos por el cemento convencional. En investigaciones previas realizadas en el estado de Tabasco con las conchas de ostión, se demostró que las temperaturas de calcinado a partir de 750 °C empiezan a generar compuestos de óxido de calcio [4, 10 y 17], el cual es uno de los principales componentes del cemento Portland comercial. Aunque en el presente estudio no se realizó caracterización mineralógica propia mediante DRX o FTIR, estos antecedentes permiten interpretar los resultados obtenidos de manera consistente con la literatura. Un ejemplo de estas investigaciones fue la realizada por Ramón-de los Santos et al. [4], quienes analizaron y reportaron un difractograma de muestras de conchas de ostión calcinadas a diferentes temperaturas. En este estudio se observa que las muestras calcinadas a 900 °C exhiben una conversión casi total del carbonato de calcio en óxido de calcio, lo que podría explicar la mayor reactividad observada en la pasta P-900.

La similitud entre las pastas P-750 y P-900 en los tiempos de fraguado y en la temperatura máxima no implica que ambas presenten el mismo grado de conversión mineralógica. De acuerdo con la literatura citada, la formación de óxido de calcio puede iniciar desde temperaturas cercanas a 750 °C, mientras que una conversión más completa del carbonato de calcio se reporta alrededor de 900 °C. Por esto, es posible que el biocemento calcinado a 750 °C ya genere una respuesta térmica y de fraguado cercana a la pasta de control, aunque el material calcinado a 900 °C presente una condición más favorable, como también se refleja en la resistencia a compresión.

En lo que se refiere a la resistencia a la compresión simple, se observó que para las pastas elaboradas con biocemento calcinado a 150 °C, se registró un descenso de alrededor de 35 % con respecto a la pasta de control. A medida que la temperatura de calcinado fue aumentando, se registró un aumento de la resistencia. La pasta con una resistencia muy similar a la pasta de cemento convencional fue aquella elaborada con biocemento calcinado a 900 °C, lo que corrobora su alta reactividad. Además, este resultado coincide con los tiempos de fraguado y la temperatura máxima registrados, que fueron comparables a los de la mezcla de control.

Este comportamiento sugiere que pastas con fraguado más lento tienden a alcanzar menores resistencias, esto debido a una hidratación menos activa durante las primeras horas. En la **Figura 8** se observa que el valor del rango relativo no supera el 8.7 % establecido por la norma ASTM C109 [13], lo cual indica una buena uniformidad entre probetas del mismo tipo y respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.

CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

Desde el punto de vista de los tiempos de fraguado, los resultados obtenidos indican que es viable sustituir (en un 10 % en peso) cemento por concha de ostión calcinada a 900 °C. En esta condición, los tiempos de fraguado inicial y final fueron muy similares a los de la mezcla de control, lo que indica que no se afecta significativamente el proceso de endurecimiento del material. El tiempo de fraguado es un criterio válido para evaluar esta viabilidad, ya que define el momento en el que la mezcla deja de ser trabajable y comienza su transición hacia un material estructural. Mantener estos tiempos dentro de rangos aceptables garantiza que el uso de biocemento no altere los procedimientos constructivos habituales.

En conjunto, estos resultados muestran que al aumentar la temperatura de calcinación del biocemento disminuyen los tiempos de fraguado, aumenta la temperatura máxima de la pasta y mejora la resistencia a compresión, acercándose al comportamiento de la pasta de control.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el uso de biocemento elaborado a partir de concha de ostión calcinada influye de manera importante en los tiempos de fraguado de pastas de cemento. Se observó que las pastas con biocemento calcinado a baja temperatura (150 °C) presentaron tiempos de fraguado inicial y final considerablemente mayores que la pasta de control, lo que indica una baja reactividad del material para esas condiciones de calcinado. Lo anterior se reflejó directamente en la resistencia a la compresión simple, observándose una reducción del 35 %.

En particular, la pasta elaborada con biocemento calcinado a 900 °C fue la que mostró un comportamiento más cercano al del cemento convencional. Sus tiempos de fraguado inicial y final, así como su temperatura máxima durante el ensayo, fueron comparables a los de la mezcla de control. Además, esta pasta alcanzó una resistencia a la compresión similar a la pasta de control, lo que sugiere una mayor reactividad del material calcinado a esta temperatura y su potencial como sustituto viable en aplicaciones prácticas.

Por lo tanto, desde el punto de vista del tiempo de fraguado, el biocemento de concha de ostión puede emplearse como sustituto parcial del cemento Portland, siempre que se controle adecuadamente su temperatura de calcinación y el porcentaje de sustitución. Además, esta alternativa representa una opción sustentable para el aprovechamiento de residuos marinos, contribuyendo a reducir la acumulación de conchas y el impacto ambiental asociado a la producción de cemento convencional.

Finalmente, los resultados obtenidos con el biocemento calcinado a 900 °C sugieren que en estudios posteriores podría evaluarse el efecto de temperaturas de calcinación mayores, cercanas a 1000 °C, para analizar su influencia en la reactividad del material y en su desempeño en pastas de cemento.

CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

REFERENCIAS

[1] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, "Ostión, recurso importante para miles de pescadores en México," 2022. [En línea]. Disponible:https://www.gob.mx/conapesca/prensa/ostion-recurso-importante-para-miles-de-pescadores-en-mexico?idiom=es-MX[Consultado: 19-ene-2025].

[2] Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca,"Ostión," 2022. [En línea]. Disponible: https://campotabasco.gob.mx/?pesquero=ostion[Consultado: 19-ene-2025].

[3] R. S. Mora-Ortiz, E. Del Angel-Meraz, A. Díaz-S., E. Munguía-Balvanera, F. Magaña-Hernández,J. Alavez-Ramírez, M. A. Pantoja-Castro y J. del R. Torres-Hernández, "The use of pre-wetting to improve the mechanical behavior of masonry mortar elaborated with crushed oyster shell,," Sustainability vol. 16, no. 1, p. 199, 2023.

[4] C. Ramón-de los Santos, A. S. López Rodríguez, P. Sifuentes Gallardo, M. Á. Hernández Rivera, J. G. F. Rivera Trejo y L. L. Díaz Flores, "Reuse of Crassostrea virginica oyster shells to obtain a mortar binder from their milling and calcination," Rev. Espacio I+D Innov. Más Desarro., vol. 5, no. 12, pp. 38–48, 2016.

[5] B. A. Tayeh, M. W. Hasaniyah, A. M. Zeyad y M. O. Yusuf,"Properties of concrete containing recycled seashells as cement partial replacement: A review,"J. Clean. Prod., vol. 237, Art. no. 117723, 2019.

[6] N. Mahasenan, S. Smith y K. Humphreys,"The cement industry and global climate change: Current and potential future cement industry CO_2 emissions," en Greenhouse Gas Control Technologies: 6th International Conference, pp. 995–1000, 2003.

[7] Y. Yang, J. Chu, L. Cheng y H. Liu,"Utilization of carbide sludge and urine for sustainable biocement production," J. Environ. Chem. Eng., vol. 10, no. 3, Art. no. 107443, 2022.

[8] G. L. Yoon, B. T. Kim, B. O. Kim y S. H. Han,"Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell," Waste Manag., vol. 23, no. 9, pp. 825–834, 2003.

[9] H. N. Ruslan, K. Muthusamy, S. M. Syed Mohsin, R. Jose y R. Omar, "Oyster shell waste as a concrete ingredient: A review," Mater. Today, Proc., vol. 48, pp. 713–719, 2022.

[10] J. R. Jiménez Bautista y K. J. R. Mora, Elaboración de mortero con biocemento a base de conchas de ostión calcinadas. Cunduacán, Tabasco, México: División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2025.

[11] Moblaje,"El biocemento y las construcciones autorreparables," 2025. [En línea]. Disponible: https://moblaje.mx/category/industria/blog/biocemento-y-construcciones-autorreparables [Consultado: 19-ene-2025].

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630

[12] ASTM C191-21, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2021.

[13] ASTM C109/C109M-21, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). West Conshohocken, PA, SA: ASTM International, 2021.

[14] Google Maps, "Ubicación geográfica del área de estudio," 2025. [En línea]. Disponible: https://www.google.com/maps/ [Consultado: 01-feb-2025].

[15] F. Pérez, "¿Qué son los fraguados y para qué sirven en construcción?, "Cementos Torices, 2025. [En línea]. Disponible: https://cementostorices.com/blog/construccion/fraguados/ [Consultado: 22-feb-2025].

[16] ASTM C1437-20, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2020.

[17] C. Ramón-de los Santos, J. G. F. Rivera Trejo, A. S. López Rodríguez, M. Á. Hernández Rivera, P. Sifuentes Gallardo y L. L. Díaz Flores, "Effect of the thermal annealing on the phase transitions of biogenic $CaCO_3$ nanostructures," J. Mex. Chem. Soc., vol. 63, no. 1, 2019.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6630