



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**“ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE  
CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTAN:**

**JOSÉ REYES JIMÉNEZ BAUTISTA  
KARLA JAZMÍN RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**BAJO LA DIRECCIÓN DE:  
DR. RENÉ SEBASTIÁN MORA ORTIZ**

**EN CODIRECCIÓN DE:  
DR. SERGIO ALBERTO DÍAZ ALVARADO**



**DIRECCIÓN**

**CUNDUACÁN, TABASCO, MARZO DE 2025**

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, el día 15 del mes marzo del año 2025, el que suscribe **José Reyes Jiménez Bautista y Karla Jazmín Rodríguez Martínez** alumnos del Programa de Ingeniería Civil con número de matrícula 202D25115 y 192D25012 adscritos a la Licenciatura en Ingeniería Civil, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la Tesis presentada para la obtención del título de Licenciatura en Ingeniería Civil titulada **ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS** dirigida por el Dr. René Sebastián Mora Ortiz.

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 15 de marzo 2025.



José Reyes Jiménez Bautista  
Nombre y Firma



Karla Jazmín Rodríguez Martínez  
Nombre y Firma

# ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS

Por José Reyes & Karla Jazmín Jiménez Bautista & Rodríguez Martínez

---

CANTIDAD DE PALABRAS 14237

HORA DE ENTREGA

05-FEB-2025 05:14P. M.

NÚMERO DE  
IDENTIFICACIÓN DEL  
TRABAJO

114456845

# ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

# 13%

ÍNDICE DE SIMILITUD

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://de.slideshare.net">de.slideshare.net</a> Internet	118 palabras – 1%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet	110 palabras – 1%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet	78 palabras – 1%
4	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Internet	70 palabras – 1%
5	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Internet	59 palabras – < 1%
6	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Internet	53 palabras – < 1%
7	<a href="https://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Internet	52 palabras – < 1%
8	<a href="https://doczz.es">doczz.es</a> Internet	45 palabras – < 1%
9	<a href="https://w.imt.mx">w.imt.mx</a> Internet	44 palabras – < 1%



COORDINACIÓN  
DE ESTUDIOS  
TERMINALES



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**División  
Académica  
de Ingeniería  
y Arquitectura**



## DIRECCIÓN

**OFICIO:** DAIA/DIR/CD/0145/2025  
**FECHA:** 10 de febrero de 2025.  
**ASUNTO:** Autorización de Impresión definitiva.

**C. JOSÉ REYES JIMÉNEZ BAUTISTA**  
**C. KARLA JAZMÍN RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**  
PASANTES DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA CIVIL  
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado el trabajo recepcional para obtener el Título de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL, bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido dirigido por el DR. RENÉ SEBASTIÁN MORA ORTÍZ y por el DR. SÉRGIO ALBERTO DÍAZ ALVARADO, titulado:

### "ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS"

Tengo a bien autorizarles la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen profesional.

Asimismo, les informo que en el artículo 113, del Capítulo IV, de nuestro Reglamento de Titulación vigente, a la letra dice:

*"Una vez emitido el oficio de autorización de impresión del Trabajo Recepcional por la Dirección de la División Académica correspondiente, el egresado tendrá un plazo máximo de seis meses para efectos de presentar el Examen Profesional. En caso contrario, podrá optar por la misma u otra modalidad que señale el presente Reglamento, llevando a cabo los trámites correspondientes".*

Sin otro particular por el momento, me despido deseándoles éxito en su carrera profesional.

**ATENTAMENTE**

**DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**  
DIRECTORA



**DIRECCIÓN**

C.c.p. Archivo-INGENIERÍA CIVIL-357  
DRA'DMFM/M.C.'LHC



**DIRECCIÓN**

**MEMORANDO**

**PARA: DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**  
DIRECTORA DE LA DAIA.  
**DE: COMISIÓN REVISORA DE TRABAJO RECEPCIONAL**  
**FECHA: 07 DE FEBRERO DE 2025**  
**ASUNTO: ACEPTACIÓN DE IMPRESIÓN DEFINITIVA DE TRABAJO RECEPCIONAL**  
**CCP: ARCHIVO.**  
**MEM/CET/357/ID357/2025**

PRESENTE.

En cumplimiento a lo estipulado en el Art. 112 del Reglamento de Titulación aplicable, y después de revisar el Trabajo Recepcional denominado:

**"ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS"**

Desarrollado por los C. JOSÉ REYES JIMÉNEZ BAUTISTA y KARLA JAZMÍN RODRÍGUEZ MARTÍNEZ de la Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL bajo la modalidad de "Tesis", le comunicamos que aceptamos la impresión final de dicho trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMISIÓN REVISORA

**DR. FRANCISCO MAGAÑA  
HERNÁNDEZ**  
Revisor

**DR. EMMANUEL MUNGUÍA BALVANERA**  
Revisor

**M.A.C. HERNAN ATOCHA  
BARRAGAN ABREU**  
Revisor

**M.I.H. MARCOS GARCÍA REYES**  
Revisor

**M.A.C. JOSÉ DARWIN HERNÁNDEZ  
MARTÍNEZ**  
Revisor

**DR. RENÉ SEBASTIÁN MORA ORTÍZ**  
Director de Trabajo Recepcional

**DR. SERGIO ALBERTO DÍAZ ALVARADO**  
Co-Director de Trabajo Recepcional

## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 15 de marzo del 2025.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS**.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES



José Reyes Jiménez Bautista



Karla Jazmín Rodríguez Martínez



Dr. Sergio Alberto Díaz Alvarado



Dr. Rene Sebastián Mora Ortiz

### TESTIGOS



Luis Felipe De la Cruz López



Jesús Manuel López López

## **Dedicatorias**

A Dios, mi iluminación eterna, por ser mi guía en cada paso de este camino, dándome la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para alcanzar esta meta. Sin su luz y su amor infinito, este logro no habría sido posible.

A mi querida familia, cuyo esfuerzo, sacrificio y amor incondicional han sido el pilar fundamental de mi educación. Gracias por inculcarme la importancia del trabajo y la dedicación, por brindarme su apoyo inquebrantable y por ser ejemplo de fortaleza y perseverancia. Esta tesis es un reflejo de todo lo que me han enseñado y un humilde tributo a su entrega.

José Reyes

Con todo mi amor, para mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificio han sido la base de mi educación. Este logro es tan suyo como mío, pues sin ustedes no habría sido posible.

A Park Minly, por mantenerme a flote en la adversidad.

A Angie Sánchez, por toda la luz que aporta a mi vida.

A Oderay Villanueva, por su incondicionalidad.

Al grupo surcoreano “BTS”, por mantener vivo mi espíritu.

Karla Jazmín

## AGRADECIMIENTOS

Con mi más profundo respeto y admiración, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. René Sebastián Mora Ortiz, por brindarme la oportunidad de ser su asesorado. Su guía, dedicación y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo y enriquecimiento de esta investigación.

Asimismo, expreso mi más sincera gratitud a mis compañeros y amigos Karla Jazmín Rodríguez Martínez, Jesús Manuel López López y Luis Felipe De La Cruz López, por su compromiso, esfuerzo y dedicación al involucrarse directamente en esta investigación. Su empeño a lo largo de este proceso ha sido clave para llevar este trabajo a buen puerto.

También quiero agradecer a mis demás amigos, quienes, con su apoyo incondicional, palabras de aliento y compañía, me han brindado la motivación necesaria para seguir adelante. Su presencia ha sido un pilar fundamental en este camino, y valoro profundamente cada gesto de amistad y respaldo que me han ofrecido.

De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a mis profesores, quienes, con su paciencia, conocimiento y vocación, han contribuido significativamente a mi formación académica. Cada enseñanza impartida, cada consejo y cada desafío presentado han sido fundamentales para mi crecimiento intelectual y profesional. Gracias por su dedicación y compromiso con la educación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por proporcionarme la formación académica y los recursos necesarios para desarrollar esta investigación. Gracias a su compromiso con la educación y la excelencia, he podido adquirir los conocimientos y herramientas indispensables para mi crecimiento profesional y personal.

*José Reyes Jiménez Bautista*

Con mi más profunda estima y admiración, extendiendo mi más sincera gratitud a mi director de tesis, el Dr. René Sebastián Mora Ortiz, por permitirme la oportunidad de ser su asesorada, así como por su guía, apoyo y dedicación a lo largo de toda la investigación.

De igual manera quiero agradecer a mis compañeros y amigos, José Reyes Jiménez Bautista, Jesús Manuel López López y Luís Felipe De La Cruz López, quienes han sido pilares fundamentales y en todo momento demostraron dedicación y compromiso con el proyecto.

También expreso mis agradecimientos a mi familia, quienes me han respaldado en cada paso que doy. Así como a cada uno de mis preciados amigos que me acompañaron a lo largo de todo este viaje, a mi primo Ángel. Aprecio enormemente todo su tiempo, cariño y apoyo abnegado.

Asimismo, extendiendo mis agradecimientos a cada uno de los profesores que contribuyeron a mi crecimiento académico. Gracias a aquellos que tuvieron la paciencia, dedicación y profesionalidad para compartir su conocimiento, que me brindaron su apoyo y expresaron su confianza en mis capacidades.

Gracias a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por brindarme una formación académica de calidad, un espacio de crecimiento intelectual y las herramientas necesarias para desarrollar mis conocimientos. Su compromiso y dedicación han sido parte fundamental en mi camino profesional.

Finalmente, gracias a cada una de las personas que directa e indirectamente se involucraron en el desarrollo de esta investigación, así como en mi crecimiento personal y profesional.

*Karla Jazmín Rodríguez Martínez*

## Contenido

RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
CAPÍTULO 1 Planteamiento del problema, justificación, objetivos, hipótesis .....	16
INTRODUCCIÓN .....	17
JUSTIFICACIÓN .....	18
OBJETIVO GENERAL .....	19
Objetivos particulares .....	19
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	19
HIPÓTESIS .....	20
CAPÍTULO 2 Marco Teórico .....	21
MARCO TEÓRICO .....	22
2.1 Cemento Portland .....	22
2.1.1 Efecto del sulfato en la hidratación del cemento Portland .....	23
2.1.2 Permeabilidad del cemento .....	24
2.1.3. Propiedades del cemento .....	25
2.1.4. Alternativas para el cemento .....	28
2.1.4.1 Eco ladrillos .....	29
2.1.4.2 Reciclaje de polvo fino recogido de residuos de construcción y demolición como alternativas parciales al cemento .....	30

2.1.4.3 Zeolita y Metacaolín: Alternativas Eficaces al Cemento en Hormigón de Alta Resistencia .....	31
2.1.4.4 Arcillas Calcinadas de Victoria (Australia): Sustituto Eficaz del Cemento en Sistemas Ternarios .....	33
2.1.4.5 Evaluación del polvo y las astillas de piedra caliza como eco-Alternativas en la producción de hormigón .....	33
2.2 El mortero de albañilería .....	34
2.2.1. Clasificación de los morteros .....	35
2.2.2. Morteros reciclados .....	36
2.2.2.1 Evaluación y Modificación de Propiedades de un Mortero Totalmente Reciclado Usando Cemento y Árido 100% Reciclados y Termo activados .....	37
2.2.2.2 Uso potencial de los desechos de conchas de ostras en la composición de compuestos de construcción. ....	38
2.2.2.2 Morteros de revestimiento producidos con áridos de PET .....	39
2.2.2.3 Reciclaje de Piedra Natural de Hormigón Triturado basado en la modificación de congelación y descongelación .....	39
2.2.2.4 Poliestireno expandido reciclado (EPS) como una alternativa ecológica a la arena en morteros de revestimiento .....	39
2.2.2.5 Morteros de cemento reciclado reforzados con nanofibras de PVDF sintetizadas por electrohilado.....	40
2.3. La concha de ostión.....	40

2.3.1 Aprovechamiento de la concha de ostión.....	42
CAPÍTULO 3 Materiales y equipo.....	44
3.1 Materiales.....	45
3.2 Equipos.....	48
CAPÍTULO 4 Metodología.....	63
METODOLOGÍA.....	64
CAPÍTULO 5 Resultados y Conclusiones.....	89
5.1 Difracción de rayos x de los biocementos.....	90
5.2 Ensayos de densidad de los cementos.....	91
5.3 Elección del biocemento con mayor resistencia a la compresión.....	91
5.4 Densidad en estado fresco y endurecido de morteros con BC – 1000.....	95
5.5 Absorción de agua por capilaridad y absorción total en morteros elaborados con BC – 1000.....	96
5.6 Tiempo de fraguado en pasta de cemento.....	98
CONCLUSIONES.....	102
REFERENCIAS.....	104

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósitos incentivar el reciclaje de la concha de ostión generada por la industria alimenticia en Tabasco, así como desarrollar materiales de calidad innovadores. Se propuso la utilización de la concha de ostión como sustituto parcial del cemento Portland compuesto. Para lograr lo anterior, la concha de ostión se separó en cinco grupos, cada uno de ellos fue calcinado por separado a diferentes temperaturas (150, 300, 500, 750 y 1000 °C), después cada uno de ellos fue triturado y tamizado por separado. A los resultados de este proceso se les llamó biocementos. Para evaluar los cambios en las propiedades mecánicas del cemento, se le sustituyó parcialmente en diferentes porcentajes por biocemento a base de concha de ostión. Los resultados mostraron que es factible sustituir el cemento Portland hasta en un 10 % por biocemento de ostión que haya sido calcinado a 1000 °C. Esto se debe a que esta temperatura genera la transformación del carbonato de calcio (principal mineral del ostión) en óxido de calcio (uno de los principales ingredientes del cemento Portland). Implementar el reciclaje de la concha de ostión permitirá contribuir a la reducción de la acumulación de este material, ayudando a prevenir la proliferación de mosquitos y aportar para reducir la huella de dióxido de carbono que la industria del cemento genera.

## ABSTRACT

The present research had the purpose of encouraging the recycling of oyster shells generated by the food industry in Tabasco, as well as developing innovative quality materials. The use of oyster shells as a partial substitute for composite Portland cement was proposed. To achieve this, the oyster shells were separated into five groups, each of which was calcined separately at different temperatures (150, 300, 500, 750, and 1000 °C), then each of them was crushed and sifted separately. The results of this process are called biocements. To evaluate the changes in the mechanical properties of the cement, it was partially replaced in different percentages by oyster shell-based biocement. The results showed that it is feasible to replace Portland cement up to 10% with oyster biocement that has been calcined at 1000 °C. This is because this temperature causes the transformation of calcium carbonate (the main mineral in oysters) into calcium oxide (one of the main ingredients in Portland cement). Implementing oyster shell recycling will help reduce the accumulation of this material, prevent the proliferation of mosquitoes, and contribute to reducing the carbon dioxide footprint generated by the cement industry.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# CAPÍTULO 1

Planteamiento del problema, justificación, objetivos, hipótesis

## INTRODUCCIÓN

En México la producción de ostión a nivel nacional es de 20 mil 237.68 toneladas en el año 2023 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). Los principales estados que producen este alimento son: Nayarit con 323.29 toneladas, Sinaloa con 863.24 toneladas, Veracruz con 13,183.21 toneladas, Tabasco 4,873.66 toneladas, siendo este último el segundo productor de ostión a nivel nacional por debajo de Veracruz (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). Esta actividad representa una fuente de ingreso muy importante para las personas que viven en las zonas costeras del estado de Tabasco, de esta actividad dependen muchas personas desde los que cultivan y transportan hasta los que comercializan; siendo un sector económico muy fuerte en el estado, a nivel nacional Tabasco es el encargado de aportar 27.7% de la producción nacional (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, 2024). Económicamente deja un valor monetario general de 13, 674 millones de pesos en ingresos anuales (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, 2024). Actualmente el estado está invirtiendo muchos recursos para aumentar la producción de este alimento marino.

Más del 90% del peso del ostión se debe a su concha, esta es un residuo de la industria encargada de su comercialización que muy pocas veces se aprovecha (Mora-Ortiz et al., 2023). En la zona de producción existen tantos residuos de este material que es usado para rellenar baches de las calles, lamentablemente este material no es apto para esa función o al menos no en ese estado. La mayoría de estas conchas son desechadas, normalmente en sitios designados por el gobierno o incluso en vertederos ilegales (de los Santos et al., 2016; Mora-Ortiz et al., 2023). En su mayoría, el interior de las conchas retiene residuos orgánicos, los cuales en su estado de descomposición emiten olores fétidos muy fuertes que contaminan al ambiente, esto provoca la atracción de fauna nociva que es peligrosa para la salud de las personas, así como las cantidades

de líquidos que por su forma cóncava almacenan, principalmente en temporadas de lluvia que sirven como reservorio de incubación de los mosquitos que transmiten el dengue (de los Santos et al., 2016; Mora-Ortiz et al., 2023). Mientras que otro problema con este material es que las conchas de ostión no son biodegradables, esto provoca que se almacenen en cantidades enormes y no se pueda aprovechar este material (Mora-Ortiz et al., 2023).

## JUSTIFICACIÓN

El cemento es el principal ingrediente del mortero y el concreto en la construcción, su función principal es actuar como un conglomerante formado a partir de una mezcla de la roca caliza y arcilla calcinada (Adam M. Neville, 1999). Lamentablemente, en la producción de este material se generan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, lo que provoca una alta aportación a la atmósfera, en la producción de una tonelada de cemento las plantas emiten 0.82 toneladas de dióxido de carbono. De toda la emisión del dióxido de carbono a la atmósfera la producción de cemento aporta entre 5% y 8% del total (Cristhian Ricardo Jaimes Guio, 2022). Por lo anterior, es importante disminuir el uso de este material, investigando alternativas para contribuir a la disminución de la huella de carbono que ocasiona la producción del cemento.

En la ingeniería civil moderna se pretende crear materiales de calidad que continúen cumpliendo con las especificaciones que dictan las normas de construcción, pero que además sean sustentables con el medio ambiente. Los ingenieros civiles actuales están comprometidos con el medio ambiente y la calidad. Por todo lo anterior, este proyecto pretende desarrollar un biocemento a base de conchas de ostión calcinadas, como sustituto parcial del cemento convencional en la elaboración de las mezclas de morteros. Los objetivos de este proyecto son contribuir a la disminución de la contaminación por acumulación de conchas de ostión, a la reducción de las principales incubadoras de mosquitos propagadores del dengue, evitar proliferación de fauna

nociva, aumentar el ciclo de vida del material y ayudar al medio ambiente utilizando menos cementos convencionales. La implementación del reciclado de las conchas de ostión representaría un impulso para el desarrollo de la ingeniería civil sustentable, así como una actividad económica adicional para la población local.

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar mezclas de mortero sustituyendo parcialmente el cemento por concha de ostión calcinada.

#### ***Objetivos particulares***

- Identificar los cambios en las propiedades físicas y químicas en el biocemento a base de conchas de ostión por efecto de la temperatura de calcinado,
- Determinar las variaciones en el tiempo de fraguado y densidad del biocemento por efecto de la temperatura de calcinado,
- Contribuir a la disminución de la acumulación excesiva de la concha de ostión en los basureros y aumentar el ciclo de vida de estos materiales.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál es el impacto de sustituir parcialmente el cemento convencional con biocemento a base de conchas de ostión calcinadas en las propiedades mecánicas del mortero?
- ¿Qué porcentaje óptimo de sustitución de cemento por biocemento garantiza un equilibrio entre resistencia a la compresión?
- ¿Cuál es la variación en los tiempos de fraguado del mortero al sustituir diferentes porcentajes de cemento convencional por biocemento de conchas de ostión?

## HIPÓTESIS

El mortero de albañilería elaborado con sustitución parcial del cemento convencional con biocemento obtenido a partir de concha de ostión tendrá propiedades similares a las del mortero convencional.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# CAPÍTULO 2

Marco Teórico

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Cemento Portland

Dentro del ámbito de la construcción, la conceptualización del cemento se restringe a sustancias aglutinantes utilizadas en combinación con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción y otros materiales. Los tipos de cemento utilizados en la fabricación de concreto exhiben la propiedad de fraguar y adquirir resistencia al estar inmersos o expuestos al agua. Esto se debe a que experimentan una reacción química con este líquido, lo cual justifica su denominación como cementos hidráulicos (Adam M. Neville, 1999).



Imagen 2.1 Cemento Moctezuma (Cemento | Cemento y Concreto Moctezuma, n.d.)



*Imagen 2.2 Cemento cruz azul (Cemento – Cemento Cruz Azul, n.d.)*

### ***2.1.1 Efecto del sulfato en la hidratación del cemento Portland***

El cemento Portland es el recurso de construcción más utilizado globalmente; su empleo se remonta a casi dos siglos. La adición de sulfato de calcio para regular el tiempo de fraguado del cemento inició a finales del siglo XIX y se convirtió en una práctica estándar entre los fabricantes de cemento aproximadamente en 1930 (Andrade Neto et al., 2021; Bentur, 2003). Actualmente, el sulfato de calcio es un componente esencial del cemento Portland. Aunque se han realizado muchas investigaciones a lo largo de las décadas, aún persisten muchas interrogantes sobre la función del sulfato de calcio en las fases del cemento (C3A y C3S), sus procesos de hidratación, los mecanismos implicados y lo que se conoce como el "contenido óptimo de sulfatos" (Andrade Neto et al., 2021).

El sulfato de calcio se incorpora para regular la hidratación del C3A, con el fin de prevenir el fraguado inmediato y extender el tiempo durante el cual las mezclas permanecen manejables y fáciles de trabajar (Scrivener & Nonat, 2011). Incrementar la cantidad de sulfato puede generar problemas de durabilidad debido a la formación tardía de etringita (DEF), especialmente en cementos expuestos a elevadas temperaturas durante el curado (Horkoss et al., 2016).



*Imagen 2.3 Ataque del sulfato en el concreto (LO QUE DEBES SABER SOBRE EL ATAQUE DE SULFATO EN EL CONCRETO - 360 EN CONCRETO, n.d.)*

### **2.1.2 Permeabilidad del cemento**

La longevidad y la resistencia al desgaste de las estructuras de concreto dependen en gran medida de sus características de transporte (Bentz et al., 1999).

La permeabilidad es el principal indicador de la durabilidad del concreto. Define la rapidez con la que el agua se desplaza a través de una muestra de concreto saturada (un material poroso)

bajo la influencia de un gradiente hidráulico aplicado externamente (Bentz et al., 1999; J Dransfield, 2003). El agua sirve como medio para transportar agentes dañinos, como iones de cloruro, iones de sulfato y ácidos, que pueden iniciar diversas reacciones químicas, acelerando la degradación de las estructuras de concreto. El concreto se compone de dos fases, como la región de la pasta de cemento que rodea el agregado (ITZ) y la pasta de cemento endurecida. Estas fases afectan la permeabilidad del concreto, que se ve principalmente determinada por la permeabilidad de la pasta de cemento (Yu et al., 2018).

### **2.1.3. Propiedades del cemento**

Las características físicas y mecánicas del cemento Portland se suman a sus propiedades químicas, ofreciendo una visión integral de su bondad como material cementante (DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, 1991).

**Peso específico:** La densidad o peso específico del cemento se define como la proporción entre la masa de una determinada cantidad y el volumen absoluto correspondiente a esa masa. Este valor experimenta variaciones mínimas, y en el caso de un cemento Portland convencional, sin adiciones adicionales al yeso, generalmente oscila entre 3.10 y 3.15 g/cm<sup>3</sup> (DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, 1991).



*Imagen 2.4 medición de la densidad del cemento*

**Superficie específica (finura):** Dado que la hidratación de los gránulos de cemento se lleva a cabo desde la superficie hacia el interior, el área superficial total de las partículas de cemento se convierte en el material de hidratación. El tamaño de los granos, es decir, la finura del cemento ejerce una influencia significativa en sus propiedades, especialmente en la velocidad de hidratación, generación de calor, retracción y el aumento de resistencia con el tiempo (DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, 1991).



*Imagen 2.5 Finura del cemento (CONOCIENDO LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO: ¿QUÉ Y CÓMO? - 360 EN CONCRETO, n.d.)*

**Consistencia normal:** Como es de conocimiento común, la combinación de cemento, agua y aire se denomina pasta. Los cementos Portland pueden variar en sus necesidades de agua, y esta diferencia es aún más notable en los cementos Portland con adiciones, ya que presentan requisitos de agua superiores debido a su mayor área superficial específica (DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, 1991).



*Imagen 2.6 Medición de Fluidez*

**Fraguado del cemento:** Este concepto se emplea para describir la transición de la fase plástica a la fase endurecida de una pasta de cemento. Aunque la pasta requiere cierta resistencia durante el fraguado, es práctico diferenciar entre el fraguado y el endurecimiento. Este último se refiere al incremento de la resistencia de una pasta de cemento después de haber fraguado (DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, 1991).



*Imagen 2.10 Tiempo de fraguado*

#### **2.1.4. Alternativas para el cemento**

Los materiales convencionales utilizados en la construcción están relacionados con la emisión de sustancias tóxicas, algunas de ellas con propiedades cancerígenas, como el formaldehído y el benceno, que se emplean en adhesivos y solventes. Por otro lado, el PVC, que es uno de los materiales más comunes en este sector, debido a su composición química, está implicado en la formación de compuestos organoclorados que pueden generar efectos perjudiciales en los seres vivos, afectando funciones como el sistema inmunológico, el reproductivo, el endocrino y el sistema nervioso (Hernández-Zamora et al., 2021)(Kusha Ghoreishi Karimi, 2011).

Además de los aspectos mencionados, los materiales de construcción tienen un significativo impacto ambiental debido al elevado consumo de energía durante su producción, así como a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye desde la extracción de las materias primas, los procesos de fabricación, hasta su transporte al lugar donde serán utilizados (Hernández-Zamora et al., 2021).



*Imagen 2.11 Alternativa para el cemento convencional (10 Alternativas Sostenibles a La Construcción Con Hormigón – ECO-NOMIC ARCHITECTURE, n.d.)*

#### **2.1.4.1 Eco ladrillos**

Los ladrillos convencionales suelen estar asociados con un impacto ambiental elevado debido al uso de energía en su fabricación. Sin embargo, los ladrillos ecológicos, también conocidos como eco ladrillos, ofrecen una alternativa más sostenible. Estos ladrillos se fabrican con materiales que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y ofrecen propiedades aislantes, lo que ayuda a ahorrar energía en los edificios. Existen diversos tipos de ladrillos ecológicos, como los fabricados con cenizas de carbón, cáñamo, paja o materiales reciclados, cada uno con sus propias características y beneficios ambientales. Estos materiales no solo pueden ser tan resistentes como los ladrillos tradicionales, sino que también permiten una construcción más eficiente y sostenible (Ana Isan, 2024).



*Imagen 2.12 Eco ladrillos (Ladrillos Ecológicos o Ecoladrillos: Tipos y Ventajas, n.d.)*

#### ***2.1.4.2 Reciclaje de polvo fino recogido de residuos de construcción y demolición como alternativas parciales al cemento.***

Se está explorando el uso de sustitutos como el polvo de residuos de construcción y demolición (CDW) como posible alternativa parcial al cemento. Investigaciones han indicado que este polvo puede mejorar las propiedades mecánicas del mortero si se emplea en cantidades adecuadas. Sin embargo, su uso excesivo podría perjudicar tanto la resistencia como la trabajabilidad del material. A pesar de estos desafíos, la incorporación de estos desechos como materiales cementosos suplementarios (SCM) ofrece ventajas económicas y medioambientales, como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y los costos de producción (Zhang et al., 2023).



*Imagen 2.13 Escombros de demolición*

#### ***2.1.4.3 Zeolita y Metacaolín: Alternativas Eficaces al Cemento en Hormigón de Alta Resistencia***

La incorporación de zeolita natural y metacaolín en la fabricación de concreto se presenta como una estrategia efectiva para fomentar prácticas de construcción sostenibles sin comprometer la resistencia del material. Los estudios muestran que el uso de un superplastificante basado en éter carboxilato mejora la trabajabilidad, mientras que los aditivos minerales pueden contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el reemplazo parcial del cemento. La investigación ha identificado que la mezcla óptima de concreto incluye un 85% de cemento, 5% de zeolita natural y 10% de metacaolín, logrando resistencias a la compresión significativas tras 28 y 90 días de curado. Además, se evidencian mejoras en las propiedades mecánicas y en la resistencia del concreto gracias a la presencia de diversos compuestos, como óxidos metálicos y aluminosilicatos, los cuales juegan un papel clave en el desarrollo de la resistencia y el rendimiento del material. Estos hallazgos resaltan el potencial de los aditivos minerales para transformar el enfoque hacia una construcción más ecológica y eficiente (Gowram et al., 2021).



*Imagen 2.14 Zeolita (Zeolita. Zeonat. Green-Farming-Water-Nutrition - Minerals & Fillers, n.d.)*



*Imagen 2.15 Metacaolin (Metacaolín De Alta Reactividad Para Cemento, Alta Calidad Metacaolín De Alta Reactividad Para Cemento En Bossgoo.Com, n.d.)*

#### ***2.1.4.4 Arcillas Calcinadas de Victoria (Australia): Sustituto Eficaz del Cemento en Sistemas Ternarios***

Este estudio demuestra el potencial de utilizar arcillas calcinadas de Victoria, Australia, como sustituto parcial del cemento, presentando una opción viable para sistemas ternarios mezclados con relleno de piedra caliza. Al reemplazar el 20% del cemento con estas arcillas, se observó que, a pesar de las variaciones en los contenidos de caolinita entre las muestras, las arcillas de menor calidad también alcanzaron un rendimiento satisfactorio. Además, el estudio resalta que la finura del material y el contenido de metacaolinita tienen un impacto significativo en la hidratación y la resistencia a la compresión, confirmando que, con un adecuado proceso de calcinación, estas arcillas podrían ser utilizadas como material cementoso suplementario (SCM). Se sugiere la realización de pruebas adicionales para evaluar su durabilidad y viabilidad técnica en aplicaciones comerciales a mayor escala (San Nicolas et al., 2024).

#### ***2.1.4.5 Evaluación del polvo y las astillas de piedra caliza como eco-Alternativas en la producción de hormigón***

En el ámbito de la construcción sostenible, se han realizado estudios sobre la incorporación de materiales alternativos en mezclas de concreto. Un enfoque reciente ha sido la sustitución parcial del cemento con polvo de piedra caliza en un 10%, y la arena de río con astillas de piedra caliza en proporciones del 10%, 20%, 30% y 40%. Las pruebas de resistencia a la compresión realizadas a los 7 y 28 días mostraron que las mezclas con un 10% y 30% de reemplazo no solo mantienen la integridad estructural necesaria, sino que también resultan adecuadas para su uso en elementos estructurales de edificios. Este método no solo contribuye a la reducción de costos de construcción, al utilizar materiales de desecho de canteras, sino que también responde a la creciente

demanda y el consecuente aumento de precio de la arena de río, promoviendo así prácticas más sostenibles en la industria de la construcción (Dr I .C.Sharma & Gori Shankar Soni, 2024).



*Imagen 2.16 Polvo de piedra caliza (325 Polvo de Piedra Caliza de Malla CaCO<sub>3</sub> Para Desulfuración de Plantas de Energía - China Caliza, Carbonato de Calcio, n.d.)*

## **2.2 El mortero de albañilería**

El mortero es un compuesto esencial en la construcción, formado principalmente por una mezcla de cemento, arena fina y, en algunos casos, otros materiales que actúan como aglutinantes. Cuando se le agrega agua, esta mezcla inicia una reacción que le permite ganar resistencia. "Al combinar estos ingredientes, se produce un material que se solidifica y se endurece a través de procesos tanto físicos como químicos, logrando una dureza comparable a la de la piedra" (Daniela Stefanya Cañarte Pico, 2023).



*Imagen 2.17 Mortero de albañilería (Mortero - Los Albañiles, n.d.)*

### **2.2.1. Clasificación de los morteros**

Según la normativa ASTM E270, los morteros se categorizan ya sea en función de sus características o de sus proporciones (RODRIGO SALAMANCA CORREA, 2001).

**MORTERO TIPO “M”;** Se trata de una combinación con una resistencia considerable que proporciona una durabilidad superior en comparación con otros tipos de mortero (RODRIGO SALAMANCA CORREA, 2001).

**MORTERO TIPO “S”;** Se trata de un tipo de mortero que logra el nivel máximo de adherencia posible. Se recomienda su aplicación en estructuras sujetas a cargas de compresión estándar y especialmente en situaciones donde el mortero constituye el único medio de adherencia con la pared (RODRIGO SALAMANCA CORREA, 2001).

**MORTERO TIPO “N”;** Se trata de un mortero de uso versátil diseñado para aplicaciones en estructuras de mampostería ubicadas por encima del nivel del suelo. Destaca en revestimientos de mampostería, así como en paredes internas y divisiones. Ofrece una óptima combinación de resistencia, manejabilidad y eficiencia económica. Por lo general, las mezclas de tipo N suelen

alcanzar aproximadamente 125 kg/cm<sup>2</sup> (1800 psi) de resistencia a la compresión en pruebas de laboratorio (RODRIGO SALAMANCA CORREA, 2001).

**MORTERO TIPO “O”:** Se trata de un mortero de resistencia moderada y con una proporción elevada de cal. Es adecuado para aplicaciones en paredes y divisiones sin carga, así como para revestimientos exteriores que no estén expuestos a condiciones de congelamiento, incluso en presencia de humedad. Este tipo de mortero es comúnmente utilizado en construcciones de viviendas de uno o dos pisos. Su destacada manejabilidad y costo reducido lo convierten en la elección preferida por los albañiles (RODRIGO SALAMANCA CORREA, 2001).

### *2.2.2. Morteros reciclados*

La construcción genera un impacto ambiental, y los residuos de obras o demoliciones pueden reutilizarse como materia prima para nuevos materiales de construcción, una práctica antigua. Un tipo de residuo que está aumentando es el de las lanas minerales, usadas para el aislamiento térmico y acústico en edificios. Aunque representan solo el 0,2% de los desechos de construcción en Europa, se estima que en 2020 se generaron más de 2,5 millones de toneladas en la Unión Europea. Estos materiales son difíciles de reciclar y tienen pocas opciones de recuperación (RETEMA, 2019).



*Imagen 2.18 Mortero reciclado (Del Concreto Reciclado Se Obtendría Un Mortero Más Durable, n.d.)*

#### ***2.2.2.1 Evaluación y Modificación de Propiedades de un Mortero Totalmente Reciclado Usando Cemento y Árido 100% Reciclados y Termo activados***

Este estudio evaluó el rendimiento y las modificaciones del mortero completamente reciclado, elaborado con un 100% de cemento reciclado termoactivado y agregado reciclado. Los resultados indicaron que los agregados finos reciclados (RFA) presentan propiedades inferiores en comparación con la arena natural. El cemento reciclado, compuesto por partículas de pasta de cemento reciclado (RCP) y concreto de cemento reciclado (RCC), contiene fases activas como C<sub>2</sub>S y CaO. Además, las partículas de pasta de cemento reciclado (RCP) mostraron una mejor capacidad de rehidratación en comparación con las de concreto reciclado (RCC). Sin embargo, al sustituir el RCP por cemento Portland ordinario (OPC) en proporciones de hasta el 100%, se observó una disminución en la reacción de hidratación del mortero (Wu et al., 2024).

### ***2.2.2.2 Uso potencial de los desechos de conchas de ostras en la composición de compuestos de construcción.***

El uso de desechos de conchas de ostra (OSW) en la construcción ha demostrado ser una alternativa prometedora dentro de la economía circular azul. Estos desechos pueden ser incorporados en compuestos de construcción en diversas formas, como polvo, polvo calcinado y arena, contribuyendo a la mejora de las propiedades mecánicas de los materiales. Estudios han demostrado que el uso de OSW puede aumentar la trabajabilidad de los morteros, así como reducir la retracción por secado y la absorción de agua. Además, el OSW tiene el potencial de ser empleado en la rehabilitación de edificios antiguos y en la fabricación de morteros para revestimiento y albañilería. Sin embargo, es necesario continuar investigando sobre la caracterización de estos residuos, así como sobre las técnicas de mezcla y las propiedades en estado fresco, para optimizar su integración en materiales de construcción sostenibles (Bellei et al., 2023).



*Imagen 2.19 Conchas de ostras (Cocción de Ostras Con Su Concha | Sous-Vide Cooking | FAQ Sous Vide Cooking, n.d.)*

### ***2.2.2.2 Morteros de revestimiento producidos con áridos de PET***

Este trabajo examinó la posibilidad de fabricar morteros de revestimiento utilizando agregados reciclados de PET, considerando aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos. Para ello, se analizaron compuestos de base cementicos con distintas proporciones de agregados de PET y PET en sus estados frescos y endurecidos. A partir de los resultados, se seleccionó uno de los compuestos (G70M30) para realizar una simulación de su desempeño térmico como revestimiento en un prototipo de vivienda social (Resende et al., 2024).

### ***2.2.2.3 Reciclaje de Piedra Natural de Hormigón Triturado basado en la modificación de congelación y descongelación***

El proceso de reciclaje del agregado de concreto (RCA) se enfrenta a retos debido a la gran cantidad de mortero adherido a su superficie, lo que complica su reutilización eficiente después de ciclos de congelación y descongelación. Aunque la modificación por congelación y descongelación mejora las propiedades físico-mecánicas del RCA, haciéndolas comparables a las del agregado natural (NA), el mortero desintegrado (SM) representa un obstáculo para su uso completo. Ante esta situación, se propone un enfoque que combine dicha técnica de congelación con la modificación mediante silicato de sodio, lo que permite reutilizar el SM como agregados finos reciclados (RFA). Este método no solo mejora las propiedades del material, sino que también busca maximizar la tasa de aprovechamiento del RCA, proporcionando una solución integral y sostenible para su reutilización (Xia et al., 2024).

### ***2.2.2.4 Poliestireno expandido reciclado (EPS) como una alternativa ecológica a la arena en morteros de revestimiento***

El uso de partículas de poliestireno expandido (EPS) recicladas se presenta como una alternativa prometedora para la sustitución parcial de la arena en morteros. Las investigaciones han demostrado que las hojuelas de EPS reciclado, tras ser molidas, exhiben una textura superficial

más rugosa y menos uniforme en comparación con el EPS virgen. Además, la incorporación de estas partículas mejora la fluidez del mortero, lo que se atribuye a la flexibilidad de las partículas de EPS en comparación con las partículas rígidas de arena, lo que sugiere su potencial en la mejora del comportamiento de los morteros de revestimiento (Leão et al., 2024).

#### ***2.2.2.5 Morteros de cemento reciclado reforzados con nanofibras de PVDF sintetizadas por electrohilado.***

El uso de agregados reciclados (RAs) en la ingeniería civil ha sido identificado como un avance clave hacia una construcción más sostenible. Sin embargo, es necesario seguir investigando alternativas que mitiguen los efectos negativos asociados a su empleo. En este contexto, el electrohilado ha demostrado ser un método eficaz para la creación de nanofibras de PVDF, con un diámetro promedio de 788 nm y una morfología lisa y uniforme. Estas nanofibras, además de su estructura óptima, presentan destacadas propiedades térmicas, lo que sugiere su potencial para mejorar las propiedades de los materiales utilizados en la construcción sostenible (Chinchillas-Chinchillas et al., 2024).

### ***2.3. La concha de ostión***

Las civilizaciones prehispánicas utilizaron conchas como material de construcción, como evidencia el templo de Teotihuacán, donde se esculpen en piedra junto con representaciones simbólicas de serpientes. Los mayas, al carecer de piedra caliza, emplearon conchas en la edificación y revestimiento de extensas ciudades, combinándolas con otros materiales como la arcilla (de los Santos et al., 2016).



*Imagen 2.20 Concha de ostión vacía (Concha de Ostión Vacía – El Pescado Feliz, n.d.)*

La durabilidad es un factor crucial en la evaluación de la incorporación de conchas de ostión (La acumulación masiva de desechos de conchas de ostión) en materiales a base de cemento, con el objetivo de satisfacer las exigencias de los proyectos de construcción. En las últimas dos décadas, la durabilidad de estos materiales ha captado la atención de diversos académicos. Se ha investigado cómo la adición de WOS afecta el contenido de aire, la porosidad, las características de transmisión, la contracción, la resistencia a la congelación-descongelación y la resistencia a ataques químicos. Además, el rendimiento de aislamiento térmico de los materiales de construcción que contienen WOS ha sido objeto de numerosos estudios. Por ejemplo, se ha observado que la conductividad térmica de los morteros con WOS triturado, utilizado como reemplazo parcial del cemento en niveles del 5% al 20%, disminuye entre un 1% y un 45%, lo cual se atribuye al aumento de la porosidad. Estos hallazgos subrayan el potencial de las WOS para mejorar tanto la durabilidad como las propiedades térmicas de los materiales de construcción (Shao et al., 2024).

La concha de ostión puede usarse como reemplazo parcial de agregado fino en concreto, mejorando su resistencia cuando se utiliza en porcentajes del 5% al 15%. Esto se debe a su alto contenido de  $\text{CaCO}_3$ , similar al polvo de piedra caliza en el cemento Portland, que ayuda en la hidratación y llena los vacíos. Se necesitan más estudios para usar grandes volúmenes de concha de ostión en concreto y evaluar su rendimiento en concretos especiales. Usar residuos de concha de ostión es sostenible, ya que reduce la contaminación y el uso excesivo de arena natural, aprovechando un residuo que sigue aumentando por la industria alimentaria y la cría de ostiones (Ruslan et al., 2022).

### ***2.3.1 Aprovechamiento de la concha de ostión***

La ventaja inherente de estos materiales porosos radica en la capacidad de controlar de manera precisa el tamaño y la forma de los poros mediante la eliminación de componentes orgánicos. Esto les confiere propiedades específicas, tales como resistencia al fuego, impermeabilidad en la construcción y utilidad en aplicaciones ambientales, como la absorción de gases contaminantes (de los Santos et al., 2016).

Estos materiales porosos también tienen la capacidad de formar estructuras complejas y ordenadas, exhibiendo buenas propiedades mecánicas y químicas. Esta versatilidad los convierte en opciones ideales para aplicaciones en campos modernos como Biotecnología, Informática y Nanotecnología (de los Santos et al., 2016).



*Imagen 2.21 Conchas de ostión en zona arqueológica de Comalcalco (Tabasco) (El Vestigio Arqueológico Maya “hecho” de Concha de Ostión – El Financiero, n.d.)*

México. Autónoma de Tabasco.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# CAPÍTULO 3

**Materiales y equipo**

## CAPITULO 3. MATERIALES Y EQUIPO

### 3.1 Materiales.

- Cemento Portland convencional (Marca Moctezuma).



Imagen 3.1 Cemento Moctezuma (Cemento | Cemento y Concreto Moctezuma, n.d.)

- Arena de río.



Imagen 3.2 Arena de río (Arena de RÍO 6MT3 - Materiales Los Pinos, n.d.)

- Agua potable.



*Imagen 3.3 Agua potable (102 Colonias Contaron Con Servicio de Agua Potable Por Red, El 10 de Octubre, OOMSAPAS La Paz. – OOMSAPAS LA PAZ, n.d.)*

- Conchas de ostión.



*Imagen 3.4 Conchas de ostión*

- Hilo encerado.



Imagen 3.5 Hilo encerado

- Gasolina



Imagen 3.6 Garrafa de gasolina (Bidón Garrafa Gasolina 10 Litros Contenedor Bote | MercadoLibre, n.d.)

### 3.2 Equipos.

- Cepillos con cerdas de plástico.



*Imagen 3.7 Cepillo con cerdas de plástico (SPARTA 3662000 Flo-Pac - Cepillo Para Polvo de Limpieza Con Mango de Plástico, Cerdas de Nailon, Ribete de Cerdas de 2 Pulgadas, 8 Pulgadas de Longitud, Blanco, 1 Unidad (Paquete de 1) : Amazon.Com.Mx: Hogar y Cocina, n.d.)*

- Bandeja metálica de 1.50 x 0.8 m.



*Imagen 3.8 Bandeja metálica para vaciado de concreto (BANDEJA ANTIDERRAME METÁLICA | Acero Galvanizado, n.d.)*

- Recipientes y capsulas de aluminio.



3.9 Recipientes de aluminio.

- Estufa de gas.



3.10 Estufa de gas (Estufa De Gas 2 Quemadores Foy 144705 - Ferreterias Calzada, n.d.)

- Olla de aluminio para hervir muestras.



Imagen 3.11 Olla de aluminio.

- Flexómetro.



Imagen 3.12 Flexómetro de 5.5 metros (Flexómetro Cinta Negra Numero Blanco 5.5mt 27mm Truper 11745 | Meses Sin Interés, n.d.)

- Franelas.



Imagen 3.13 Franelas (Franela Toalla Microfibra 40 X 40 Cm Paq. 6 Piezas 3 Colores | MercadoLibre, n.d.).

- Cronometro

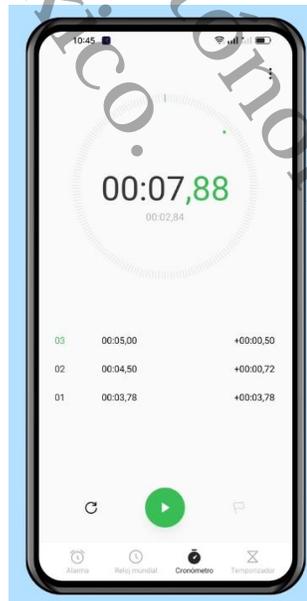


Imagen 3.14 Cronometro en teléfono celular (Oppo: Usar El Cronómetro | TechBone, n.d.).

- Espátulas.



*Imagen 3.15 Espátula de laboratorio (Espátula de Yeso Dental Para Modelar, Tallador, Restaurador, Laboratorio de Mezcla : Amazon.Com.Mx: Hogar y Cocina, n.d.).*

- Cristal.



*Imagen 3.16 Loseta de vidrio de 20cm x 20cm (Loseta de Vidrio Cuadrada 20x20 Cms, n.d.)*

- Probeta.



Imagen 3.17 Probeta (Probeta Vidrio 100 ML - Farmacia Mexicana, n.d.).

- Manguera de nivel y embudo.



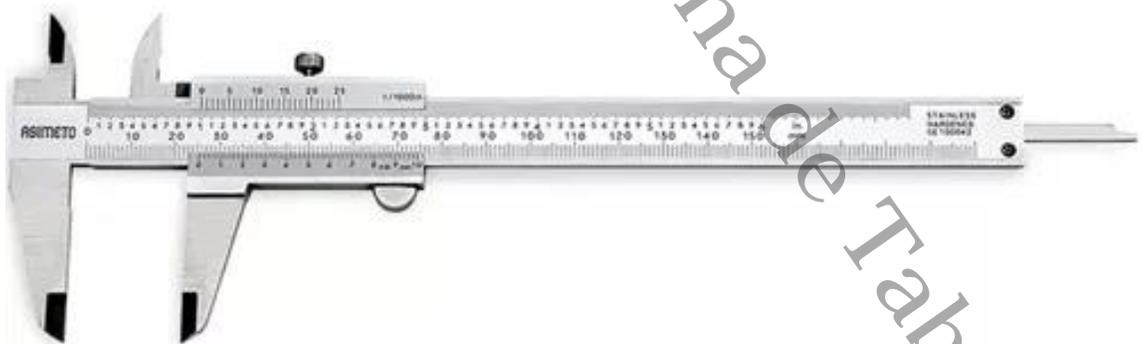
Imagen 3.17 Manguera de nivel y Embudo

- Matraz Le Chatelier.



*Imagen 3.18 Matraz Le Chatelier (Probeta De Vidrio Para Gravedad Específica - Le Chatelier | MercadoLibre, n.d.)*

- Vernier.



*Imagen 3.19 Vernier (Pie De Rey Calibrador Vernier Analogo Industrial 8 Pulgadas | Envío Gratis, n.d.)*

- Mallas ASTM No. 4 para granulometría.



*Imagen 3.20 Tamiz No. 4 (Tamiz Estándar De 8", De Diámetro, No 4 (4.75 Mm) De Malla Inoxidable Con Marco De Latón Y 2" (50 Mm) Completas De Profundidad » COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, Auscultación, Geofísica, Ingeniería, n.d.).*

- Molino manual.



*Imagen 3.21 Molino Manual (Molino Manual Para Granos Marca Del Rey Color Plata | Meses Sin Interés, n.d.).*

- Molde troncocónico de bronce.



*Imagen 3.22 Molde troncocónico de bronce.*

- Molde troncocónico de caucho.



*Imagen 3.23 Molde troncocónico de caucho.*

- Martillo compactador.



*Imagen 3.24 Martillo compactador.*

- Molde metálico de 5x5x5 cm.



*Imagen 3.25 Molde metálico para mortero.*

- Balanza manual.



Imagen 3.26 Balanza manual (Avanza Equipos de Pesaje, n.d.)

- Báscula digital de precisión.



Imagen 3.27 Báscula digital de precisión

- Horno de secado para uso de laboratorio.



Imagen 3.28 Horno de secado.

- Horno thermo scientific lindberg blue m.



Imagen 3.29 Horno thermo scientific lindberg blue m

- Mesa de flujo de mortero.



*Imagen 3.30 Mesa de flujo de mortero (Funcionamiento Manual Del Flujo de Mortero de Cemento de Aparatos de Mesa - China Prueba de Fluidez de La Tabla, Tabla de Flujo, n.d.)*

- Mezcladora automática para mortero.



*Imagen 3.31 Mezcladora automática para mortero*

- Aparato de Vicat.



Imagen 3.32 Aparato de Vicat (Aparato de Consistencia Vicat - BSmart, n.d.)

- Prensa universal.



Imagen 3.33 Prensa universal eléctrica de la marca DAVI, con capacidad de 120 toneladas.

- Máquina de tamizado.



Imagen 3.34 Máquina tamizadora (TAMIZADORA PARA TAMICES CON AJUSTE DE FRECUENCIA | Testmak, n.d.)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# CAPÍTULO 4

Metodología

## METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología seguida para alcanzar los objetivos propuestos: Se recopiló la concha de ostión en una de las zonas más importantes en cuanto producción de ostión se refiere, en Chiltepec, sección Tanque, en el municipio de Paraíso, Tabasco;



*Imagen 4.1 Identificación de lugares de desecho de conchas de ostión.*



*Imagen 4.2 Recolección de conchas de ostión en Chiltepec, Paraíso, Tabasco.*

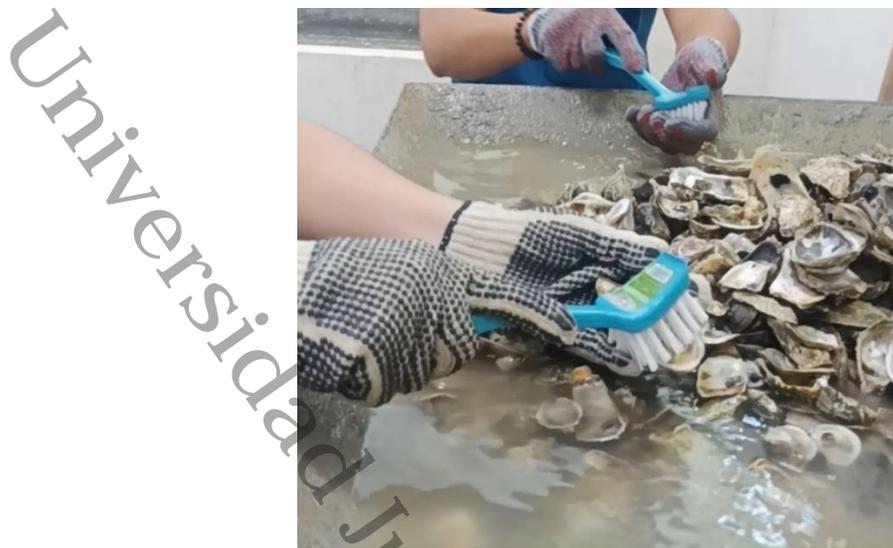
4.1 Las conchas fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); en donde fueron lavadas con agua y jabón de pH neutro. Se realizó una limpieza exhaustiva mediante cepillos con cerdas de plástico sólido. Toda la operación de limpieza se realizó utilizando guantes y gafas como equipo de seguridad.



*Imagen 4.3 Traslado a la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA).*



*Imagen 4.4 Limpieza y preparación de las conchas de ostión.*

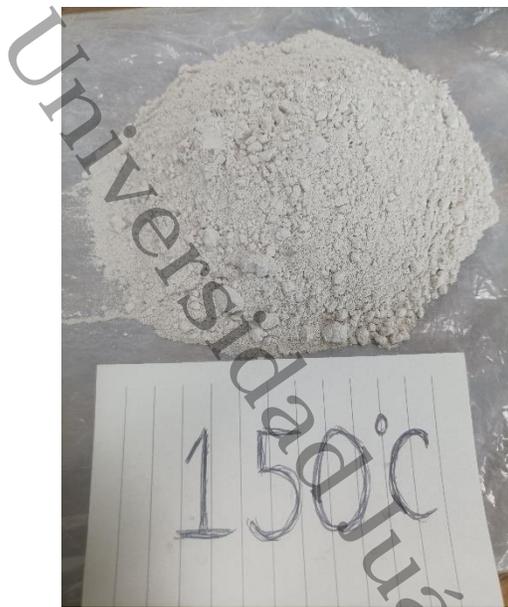


*Imagen 4.5 Limpieza minuciosa de las conchas de ostión.*

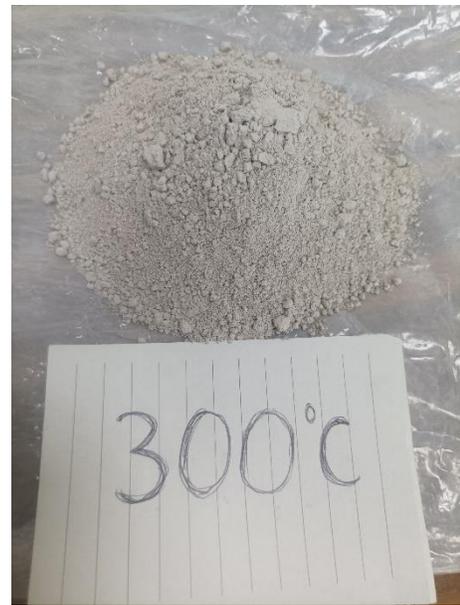
4.2 Posteriormente, se sometieron por separado varias muestras a un proceso de calcinado a diferentes temperaturas. Estas muestras se trituraron con herramienta manual hasta alcanzar un tamaño menor a 0.150 mm (malla ASTM No. 100). El proceso descrito permitió producir diferentes tipos de biocementos (Tabla 1);

**Tabla 1** Tipos de cementos de concha de ostión.

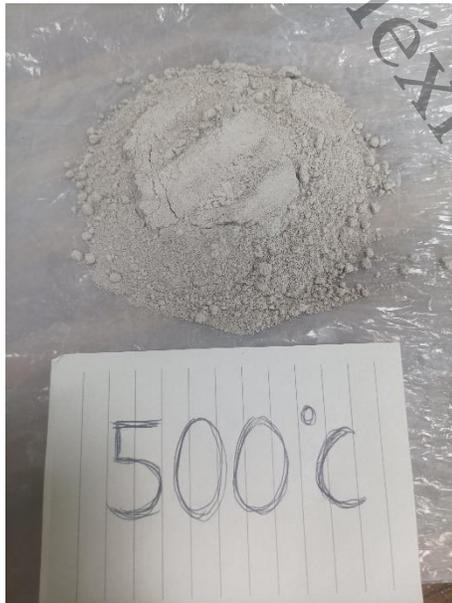
<b>Tipo de biocemento</b>	<b>Temperatura de calcinado (°C)</b>
BC-150	150
BC-300	300
BC-500	500
BC-750	750
BC-1000	1000



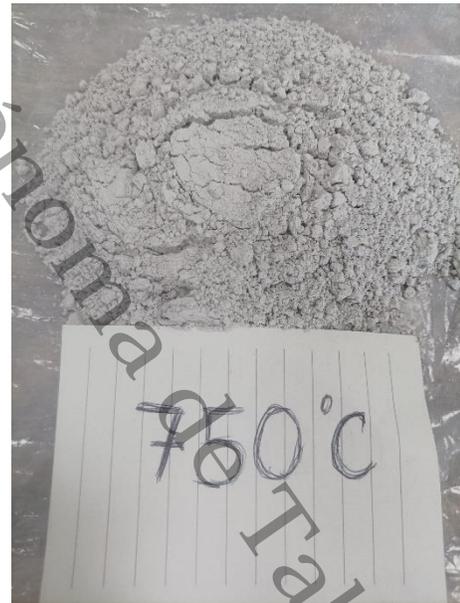
*Imagen 4.6 Biocemento BC-150*



*Imagen 4.7 Biocemento BC-300*



*Imagen 4.8 Biocemento BC-500*



*Imagen 4.9 Biocemento BC-750*



*Imagen 4.10 Biocemento BC-1000*

4.3 Para la primera muestra requerida (BC-150) se utilizó un horno de secado para uso de laboratorio, ubicado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura. Las conchas se introdujeron en recipientes de aluminio y fueron sometidas a una temperatura de 150 grados centígrados durante tres horas.



*Imagen 4.11 Conchas de ostión calcinadas a 150 grados centígrados.*

4.4 Para las muestras a mayor temperatura (BC-300, BC-500, BC-750 y BC-1000) se utilizó un horno *thermo scientific lindberg blue m*, un equipo más sofisticado que permitió alcanzar las temperaturas requeridas, 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. De la misma manera, en este equipo la calcinación se llevó a cabo durante tres horas.



*Imagen 4.12 Horno thermo scientific lindberg blue m.*

4.5 Posteriormente, cada una de las muestras calcinadas fueron trituradas en un molino manual con el objetivo de obtener el material lo más fino posible.



*Imagen 4.13 Triturado de conchas de ostión calcinadas en molino manual.*

4.6 Todas las muestras resultantes culminaron este proceso mediante un tamizado en malla ASTM No. 100. A todas las muestras de biocemento se les realizaron ensayos de rayos x para identificar a los minerales que los constituían.



*Imagen 4.14 Tamizado manual de conchas de ostión calcinadas y trituradas en malla ASTM No. 100*

4.7 Se diseñó una mezcla convencional de mortero de albañilería en proporción cemento-arena 1:4, con una consistencia de  $170 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ . De esta mezcla se elaboraron muestras cúbicas (5 cm) de mortero que servirían como referencia o control.

4.8 La siguiente tabla muestra el criterio que se tomó para la elaboración de los morteros de control, el cual se tomó como base para las sustituciones parciales del cemento convencional por el biocemento, siguiendo los lineamientos que dicta la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), n.d.), que especifica la fluidez y resistencia aproximada que deben tener los morteros.

**Tabla 2.** Datos para elaboración de mortero.

Dosificación que se usa para 6 cubos		
Cemento	380	g
Arena	1694	g
Agua	340	g
Revenimiento	175 ± 5	mm
Molde cubo	5	cm
Volumen	125	cm <sup>3</sup>
Volumen	0.000125	m <sup>3</sup>
Volumen x 6	0.00075	m <sup>3</sup>



Imagen 4.15 Cubos de mortero de control.

4.9 Tomando en consideración la dosificación de la mezcla de mortero de control, el cemento convencional fue sustituido parcialmente y por separado en un porcentaje de 10% por cada uno de los biocementos propuestos. Para determinar al biocemento que generó mayor resistencia a la compresión, después de un curado de 28 días por inmersión en agua, todas las muestras fueron ensayadas a compresión simple con una prensa universal eléctrica de la marca DAVI, con capacidad de 120 toneladas, ubicada en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, ubicada en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

4.10 Identificado el biocemento con mayor rendimiento de resistencia a la compresión simple, se sustituyó parcialmente el cemento por este biocemento en diferentes porcentajes (2%, 4%, 6%, 10%, 15%, 20% y 30%). Adicionalmente, se realizó la misma sustitución parcial del cemento por el biocemento BC-150. Lo anterior se realizó para comparar los resultados entre ambos biocementos. A todas estas muestras se le sometió a un proceso de curado por inmersión en agua durante 28 días. Posteriormente, se evaluó la resistencia a la compresión simple, de estos resultados se determinó el porcentaje óptimo de sustitución para cada tipo de biocemento.

4.11 A todas las muestras de morteros elaborados con el biocemento que produjo las mayores resistencias (vea paso 4.10) se les determinó la densidad en estado fresco y en estado endurecido, así como la absorción y por capilaridad. Por último, se determinaron los tiempos de fraguado inicial y final.

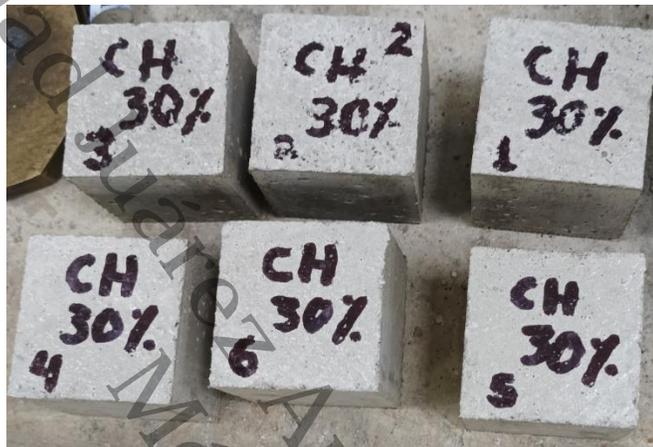


Imagen 4.16 Cubos de mortero con sustitución de 30% de conchas de ostión calcinadas a 150 grados Celsius.

4.12 Con los resultados obtenidos se realizaron comentarios y conclusiones.

A continuación, se describe el procedimiento seguido en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras.

### Densidad en estado fresco

La Tabla 3 muestra la información de los moldes que se usaron para la evaluación de la densidad en estado fresco de los morteros de control y biocementos.

**Tabla 3** Datos de los moldes troncocónico y cristal.

Molde	Peso de molde (g)	Peso de cristal (g)	Dimensiones del molde					Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )
			Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Altura (cm)	Radio menor (cm)	Radio mayor (cm)	
1	942.64	328.71	7.055	10.123	5.133	3.528	5.0615	300.567
Σ =	1271.35							
2	1007.72	328.71	6.94	10.45	5.16	3.47	5.225	310.554
Σ =	1336.43							

Para este procedimiento, se utilizó un cristal, un molde troncocónico de bronce con 5.133 cm de altura, 10.123 cm de diámetro mayor y 7.055 cm de diámetro menor, además de un martillo compactador de 20 cm de largo. Antes de continuar, todos estos elementos fueron pesados.

Cuando el mortero alcanzó la consistencia preestablecida, se procedió a humedecer ligeramente los tres elementos mencionados. A continuación, se colocó el molde sobre el cristal y se añadió la mezcla de mortero en dos partes, utilizando una espátula. A cada capa se le aplicaron 25 golpes con el martillo compactador. Finalmente, tras enrasar y limpiar cualquier residuo de mezcla fuera del molde, se realizó el pesaje total ( $W_{total}$ ).

Para determinar la densidad, es necesario calcular el peso de la mezcla. Este valor se obtiene restando al peso total ( $W_{total}$ ) el peso del molde y del cristal. Finalmente, la densidad del mortero se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{W_{mezcla}}{Volumen\ del\ molde}$$



*Imagen 4.17 Densidad en estado fresco.*

### **Determinación de la absorción total**

Para la determinación de la absorción, se llevó a cabo el procedimiento conocido como Triple S (Saturado Superficialmente Seco). El procedimiento se realizó siguiendo lo establecido en la norma ASTM C642 (Standard Test Method for Density, n.d.). Como primer paso, los cubos de mortero debieron ser extraídos del curado e inmediatamente ser colocados en una olla con tirante de agua suficiente para cubrir las muestras completamente, misma que debió hervir durante tres horas a partir del momento de inicio de ebullición. Terminado este periodo la muestra se dejó enfriar sin extraerse en ningún momento del agua. Posteriormente, una muestra fue retirada del agua y se colocó sobre una franela húmeda durante un minuto. Transcurrido este tiempo, se rotó la muestra hacia un lado y se dejó reposar otro minuto. Este procedimiento se repitió para cada una de las cuatro caras en contacto con la franela, girando la muestra de forma lineal. A continuación, con otra franela húmeda, se retiró el exceso de agua del cubo, secando también las dos caras laterales. En este punto, el cubo debía sentirse fresco, pero sin agua visible en la superficie; esta es la condición conocida como SSS. En este estado, la muestra fue pesada y el peso se registró como “peso saturado”.



Imagen 4.18 Triple S en muestras de mortero con sustitución parcial del 20% de conchas de ostión calcinadas a 150 grados Celsius.

Las fórmulas utilizadas para determinar la absorción total y la densidad seca fueron las siguientes:

$$\text{Absorción \%} = \frac{W_{\text{sat}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} \times 100$$

$$\text{Densidad seca} = \frac{W_{\text{seco}}}{\text{Volumen}}$$



Imagen 4.19 Peso saturado en muestra de mortero con sustitución parcial del 20% por conchas de ostión calcinadas a 150 grados Celsius.

Seguidamente se dejó reposar la muestra por al menos un día a temperatura ambiente en una superficie limpia, para después introducirla al horno de secado a una temperatura de 60 grados Celsius durante 24 horas.

Transcurrido este tiempo, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente, se pesó y se registró este peso como “peso seco”.



*Imagen 4.20 Muestras de mortero en horno de secado.*

### **Absorción por capilaridad**

Todo el procedimiento se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 (Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Resistencia a Compresión en Especímenes, n.d.). Para la determinación de la absorción de agua por capilaridad, se aseguró previamente que la muestra estuviera completamente seca. Se preparó un recipiente horizontal que contenía dos apoyos en su interior, sobre los cuales se colocó la muestra. Posteriormente, se añadió agua lentamente en un lateral del recipiente, evitando salpicar la muestra, asegurándose de que esta quedara sumergida únicamente 5 mm. Para garantizar la precisión, se trazó una línea en el mortero que delimitó el nivel máximo que el agua debía alcanzar.



*Imagen 4.21 Absorción por capilaridad en muestras de mortero con sustitución parcial del 10% por conchas de ostión calcinadas a 300 grados Celsius.*

El tiempo de ensayo comenzó a registrarse en cuanto el agua entró en contacto con la muestra y se estableció una duración total de 10 minutos. Durante este intervalo, se vigiló constantemente que el nivel del agua no descendiera por debajo de la marca trazada en el mortero. En caso de que el nivel bajara debido a la absorción del material, se agregó más agua cuidadosamente, evitando salpicaduras y manteniendo siempre el tirante de 5 mm sobre la base de la muestra. Al concluir los 10 minutos, la muestra fue retirada del recipiente y secada con una franela húmeda. De inmediato, se realizó el pesaje de la muestra para registrar el peso final. La absorción de agua por capilaridad se determinó restando el peso de la muestra seca al peso obtenido tras el ensayo.

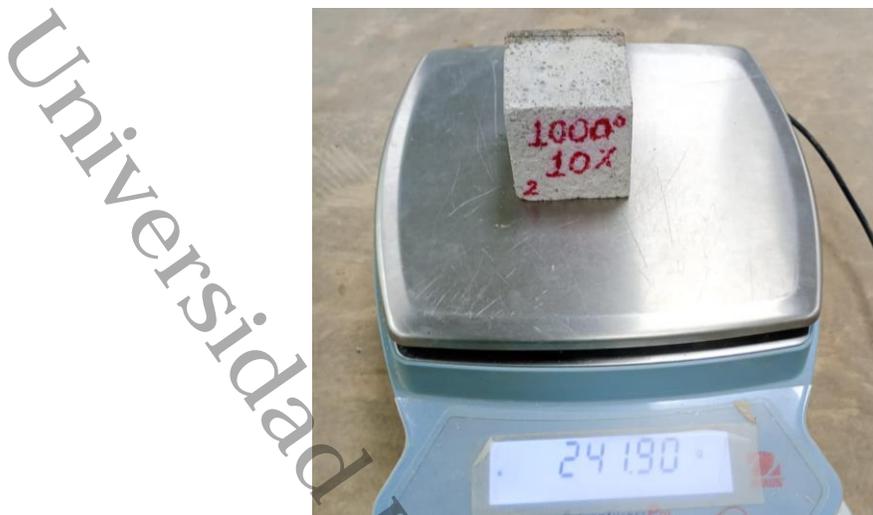


Imagen 4.22 Pesado de una muestra con sustitución parcial tras absorción por capilaridad.

Se cálculo de la siguiente manera:

$$Cb = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{s\sqrt{10}}$$

Donde:

**Cb** es el coeficiente de absorción inicial en  $g/(cm^2 \times min^{0.5})$ .

**M** es la masa del agua absorbida por el bloque durante el ensayo en g ( $M = M_1 - M_s$ ).

**M<sub>1</sub>** es la masa húmeda en g.

**M<sub>s</sub>** es la masa seca en g.

**S** es la superficie de la cara sumergida en  $cm^2$ .

**t** es el tiempo de inmersión en min ( $t = 10$  min).

### **Peso sumergido**

Para determinar el peso sumergido de la muestra, se utilizó una balanza manual, un recipiente con agua y un hilo encerado. Este procedimiento se llevó a cabo antes de introducir las muestras en el horno de secado.

La balanza manual fue calibrada considerando el peso del hilo encerado que sostendría la muestra. Para ello, se registró previamente el peso de los elementos de la balanza, los cuales fueron restados del peso total para calcular el peso neto de la muestra.

Posteriormente, la muestra fue atada a un extremo del hilo encerado, mientras que el otro extremo se fijó a la balanza, que se encontraba suspendida. A continuación, se colocó un recipiente con agua bajo la muestra, sumergiéndola completamente sin permitir que tocara el interior ni el fondo del recipiente. Finalmente, se registró el peso obtenido, descontando la calibración de la balanza, como el “peso sumergido”.



*Imagen 4.23 Peso sumergido en muestras de mortero con sustitución parcial de conchas de ostión.*

### **Resistencia a la compresión simple**

Para evaluar la resistencia a la compresión simple de las muestras de mortero se utilizó una prensa universal después de 28 días de curado en inmersión en agua, siguiendo con las indicaciones de la NMX-C-083-ONNCCE-2014 (Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a Compresión de Especímenes, n.d.).

El cálculo de la resistencia se realizó de la siguiente manera:

$$f = \frac{p}{A}$$

Donde:

f es la resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup>

P es la carga máxima soportada por el cubo (en kg)

A es el área de la sección transversal del cubo (en cm<sup>2</sup>)



Imagen 4.24 Prueba de resistencia a la compresión

### **Tiempo de fraguado**

Todo el procedimiento se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la norma Americana ASTM C191 (Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, n.d.). La prueba se realizó utilizando un equipo denominado Aparato de Vicat, así como un molde troncocónico y una base de cristal. El procedimiento comenzó con la calibración del Aparato de Vicat, asegurando que la aguja no golpeará el fondo sólido del cristal. Se verificó también la altura que alcanzaba el molde al colocarlo sobre la base de cristal, ya que desde esta altura se soltaría la

aguja para realizar la medición, este valor se restó del valor inicial proporcionado por el aparato para obtener una lectura precisa.



*Imagen 4.25 Aparato de Vicat, molde y cristal (APARATO VICAT - Mecánica Científica, n.d.)*

El análisis del tiempo de fraguado se centró exclusivamente en la combinación del cemento Portland convencional y los biocementos en los porcentajes óptimos de sustitución por conchas de ostión. El cronómetro se inició en el momento en que la primera gota de agua tocó la mezcla durante su preparación. Una vez que la mezcla alcanzó la fluidez correspondiente, se tomó una porción de la mezcla entre las manos y se formó una bola, la cual se manipuló durante un minuto para distribuir el agua de manera uniforme en la mezcla.



*Imagen 4.26 Prueba de Fluidéz*



*Imagen 4.27 Homogenización de la muestra*

A continuación, se humedecieron tanto el molde como el cristal para introducir a presión la bola hecha de la mezcla por debajo del molde. El cristal se colocó de manera que enrasara la parte inferior del molde. Posteriormente, con una espátula se enrasó la parte superior de la mezcla y se introdujo el conjunto de material y equipo en una cámara de humedad.



Imagen 4.28 Toma de lectura de tiempo de fraguado.

Durante las primeras dos horas, se tomaron lecturas cada media hora. Si la lectura caía por debajo de 40 mm, las mediciones se realizaron cada 15 minutos, lo cual podía ocurrir antes de que transcurrieran las dos horas iniciales. En casos en que la mezcla comenzó a fraguar con mayor rapidez, las lecturas se tomaron en intervalos más cortos, a consideración del responsable de la prueba. El ensayo se consideró finalizado cuando se obtuvieron tres lecturas por encima de 25 mm y tres por debajo de este valor.

Para determinar y calcular el tiempo de fraguado de la pasta de cemento en muestras de control, así como las de sustitución parcial por biocemento a base de conchas de ostión se siguió lo indicado en la norma Americana ASTM C188-17(2023) (Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, n.d.) cuya formula se muestra a continuación:

Calcular el tiempo de fraguado al minuto más cercano de la siguiente manera:

$$\left( \frac{(H - E)}{(C - D)} \times (C - 25) \right) + E$$

Donde:

**E** = tiempo en minutos de la última penetración mayor a 25 mm.

**H** = tiempo en minutos de la primera penetración menor a 25 mm.

**C** = lectura de penetración en el tiempo E.

**D** = lectura de penetración en el tiempo H.

**T<sub>i</sub>** =Tiempo de fraguado inicial (min).

**T<sub>f</sub>** =Tiempo de fraguado final (min)



Imagen 4.29 Lectura de tiempo de fraguado.

### Densidad específica de los cementos utilizados

Para medir la densidad tanto del cemento Portland convencional como de los biocementos, se utilizó gasolina como fluido de referencia, siguiendo las directrices de la norma americana ASTM C188-17 (2023) (Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, n.d.). Esta norma detalla el procedimiento que debe emplearse utilizando un matraz Le Chatelier, especificando que se debe utilizar aproximadamente 64 gramos de cemento para la prueba.

El equipo necesario para la realización de esta prueba incluyó una manguera de nivel PVC transparente de aproximadamente 1/4" de diámetro y un embudo de plástico. Estos elementos fueron necesarios para introducir correctamente tanto el cemento convencional como los biocementos a base de conchas de ostión calcinadas en el matraz.



*Imagen 4.30 Manguera de nivel y Embudo.*

Seguidamente, teniendo preparado el matraz con gasolina se procedió a introducir el cemento convencional y los biocementos (cada tipo de biocemento y cemento convencional en su respectiva prueba independiente), esto se hizo con ayuda de dos personas para, mediante una espátula, introducir el material gradualmente usando el embudo y la manguera de nivel como

conducto para garantizar que el material llegara al fondo con la menor distorsión posible en la medición del volumen.



*Imagen 4.31 Introducción de cementos al matraz.*

Después de introducir completamente los cementos en el matraz, este se tomó entre las manos para agitarse de forma rotatoria durante aproximadamente 10 minutos. Este procedimiento permitió acomodar las partículas del cemento y eliminar cualquier traza de aire que pudiera ocupar espacio en el matraz, lo que podría afectar la precisión de la medición del volumen.



Imagen 4.32 Eliminación de aire en el matraz.



Imagen 4.33 Matraz Le Chatelier con biocemento.

Como último paso, se colocó el matraz sobre una superficie plana y se tomó la lectura del volumen de gasolina después de haber introducido el material correspondiente (cemento convencional o biocementos) lo que permitió calcular la densidad de los materiales.

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa del cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# CAPÍTULO 5

Resultados y Conclusiones

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 5.1 Difracción de rayos x de los biocementos

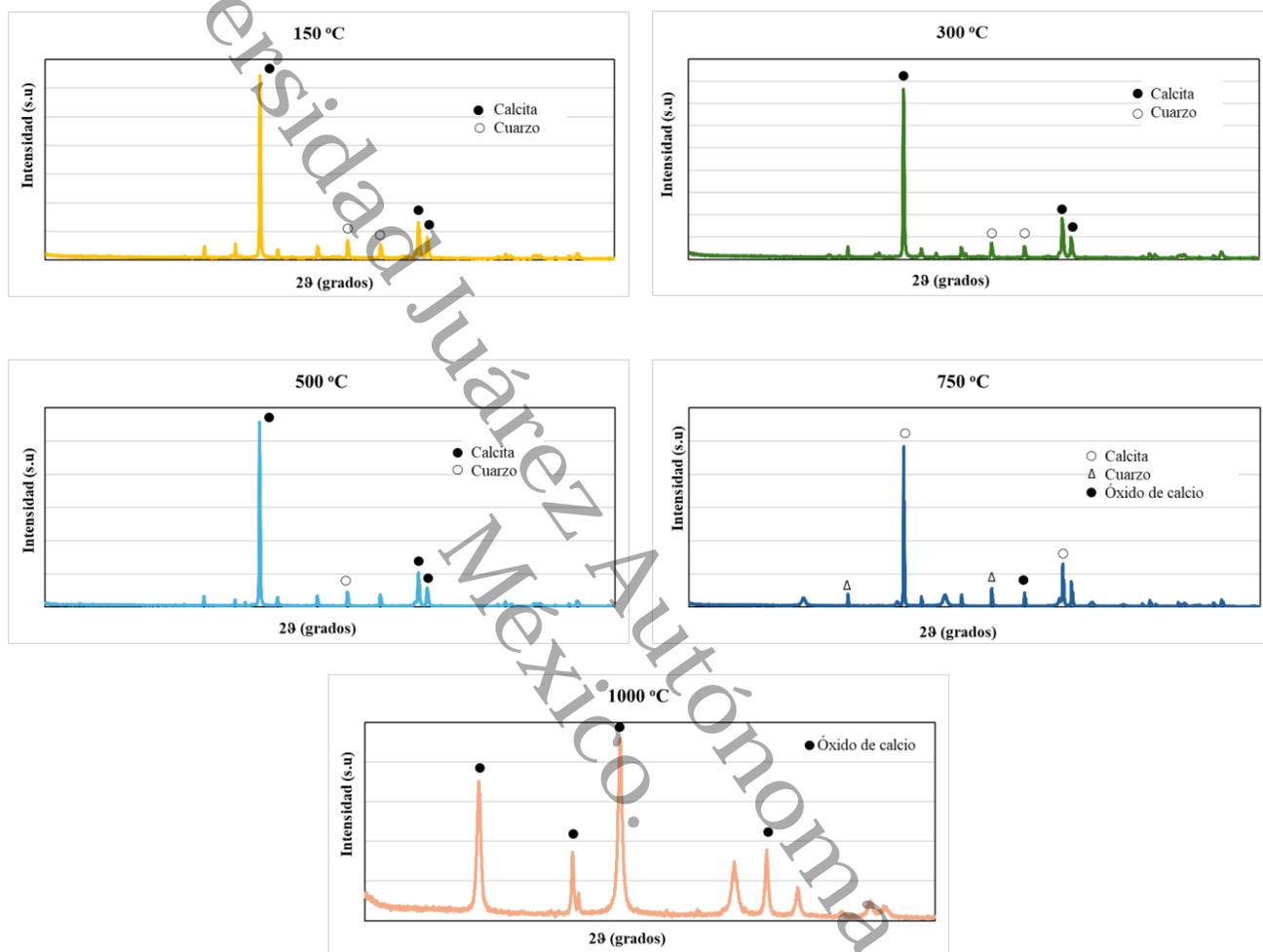


Gráfico 5.1 Difracción de rayos x en muestras de biocementos

Se observó que para los biocementos calcinados a 150 °C, 300 °C y 500 °C los minerales constitutivos son prácticamente los mismos, es decir, el calcinado a estas temperaturas no afecta la estructura fundamental de la concha. A partir de los 750 °C se observó la aparición de óxido de calcio. El calcinado a 1000 °C generó la transformación de todo el calcio en óxido de calcio. Como es sabido, el óxido de calcio es uno de los principales componentes del cemento comercial.

## 5.2 Ensayos de densidad de los cementos

Los resultados de los ensayos de densidad de los cementos se muestran en el Gráfico 5.2. Se observa que a medida que la temperatura de calcinado de la concha aumenta, su densidad disminuye. Esto se debe a que el proceso de calcinado produce dos eventos importantes:

- Genera la descomposición del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente en la concha en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), este último mineral es más frágil, menos denso y menos cohesivo.
- Se pierden los enlaces orgánicos que unen a los cristales minerales. Las proteínas, polisacáridos y lípidos que mantienen unidos a los minerales se queman, lo que disminuye su elasticidad y resistencia.

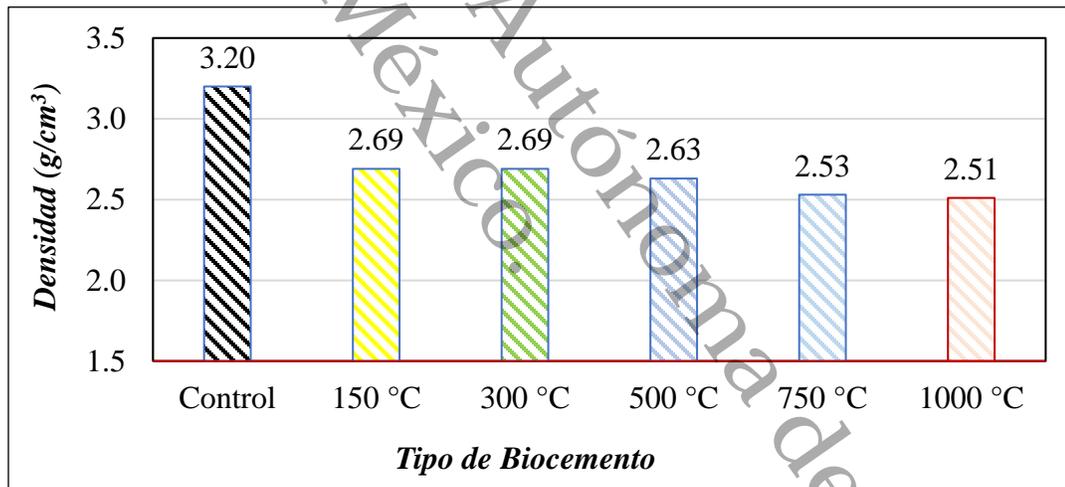


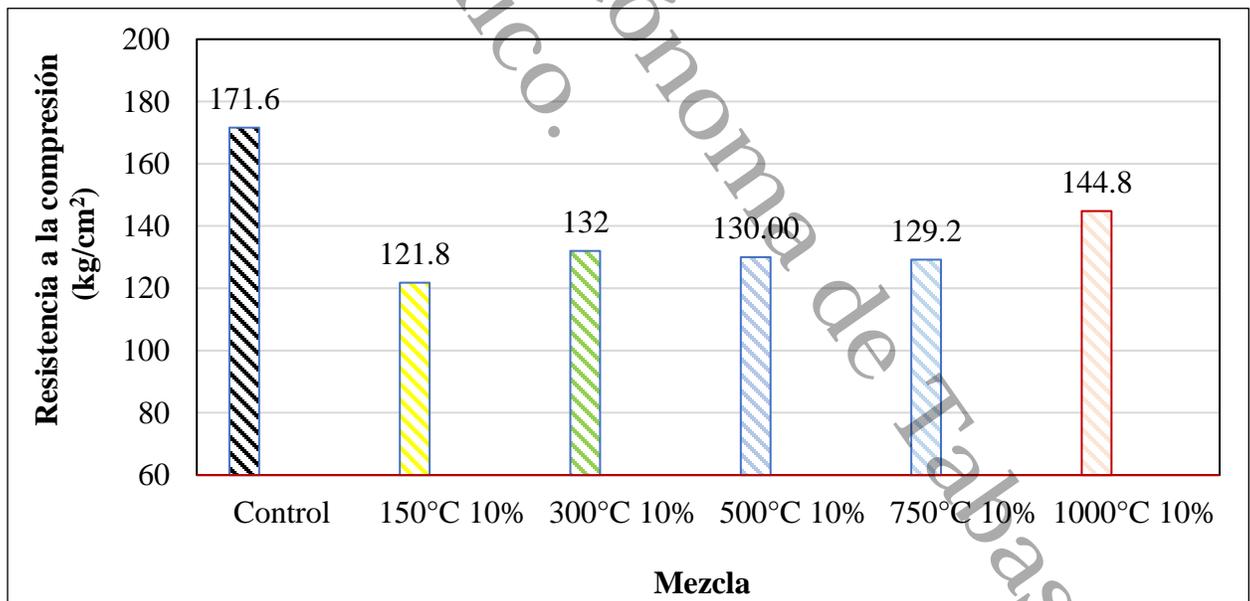
Gráfico 5.2 Densidades de cementos

## 5.3 Elección del biocemento con mayor resistencia a la compresión.

Se elaboraron muestras de mortero sustituyendo parcialmente al cemento por los biocementos analizados en esta investigación. El porcentaje de sustitución fue de 10% en peso

seco, la elección de este porcentaje no obedeció a un motivo específico. Después de un proceso de curado de 28 días por inmersión en agua, se ensayó a las muestras a compresión simple, el Gráfico 5.3 muestra los resultados.

Se observa que el biocemento que generó mayor resistencia fue el calcinado a 1000 °C. Sin embargo, es importante resaltar que todas las resistencias de los biocementos generaron resistencias menores que la resistencia del control. El cemento comercial 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 observa que a partir de la temperatura de calcinado de 150 °C la resistencia aumenta conforme la temperatura de calcinado aumenta. Este se debe a que el calcinado genera compuestos reactivos, que van mejorando las reacciones químicas en las mezclas.



**Gráfico 5.3 Resistencia a la compresión sustitución parcial de 10%**

En las conchas calcinadas a 1000 °C todo el carbonato de calcio ya se ha transformado en óxido de calcio, que es un material más reactivo que otras formas de calcio, sin embargo, no es lo suficientemente reactivo comparado con el cemento comercial, razón por la cual los morteros con este tipo de biocemento mostraron menor resistencia que la de control.

Debido a su mejor rendimiento en cuanto a la resistencia a la compresión, se seleccionó al biocemento calcinado a 1000 °C para definir el porcentaje óptimo de sustitución. Para ello se sustituyó el cemento por biocemento BC-1000 en diferentes proporciones en peso seco. En el Gráfico 5.4 se muestran los resultados. Se observa que, entre las mezclas con biocemento, el porcentaje de sustitución con mayor resistencia fue de 10%. Se observa que añadir el biocemento al 2% disminuye la resistencia del mortero en un 32%. A partir de este punto, aumentar el porcentaje de biocemento mejora la resistencia paulatinamente, hasta llegar al 10% de contenido, a partir de este contenido la resistencia baja.

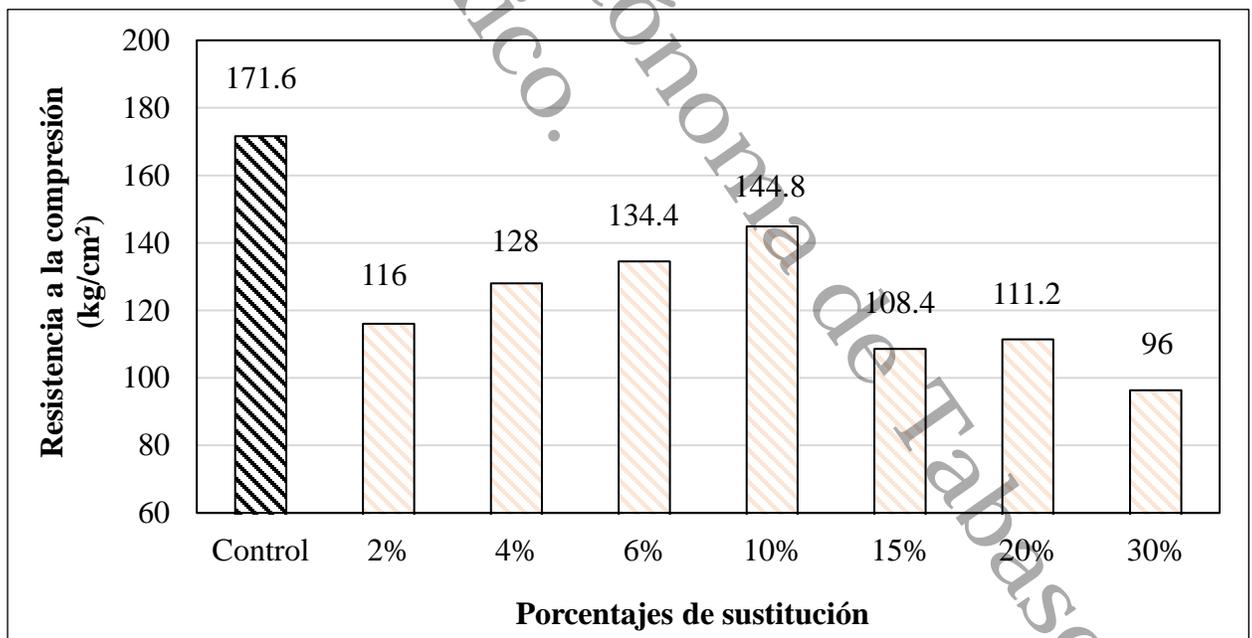


Gráfico 5.4 Resistencia a la compresión a sustitución parcial de 1000 °C

Como se ve en el Gráfico 5.4, existen dos zonas en cuanto a la resistencia: en una zona (2% – 6%) la resistencia se incrementa y en la otra (15% – 30%) disminuye; la frontera entre ambas zonas es el contenido de 10%. Al agregar 2% de biocemento se genera un decremento instantáneo de la resistencia, debido a la menor reactividad del compuesto con respecto al cemento normal. Si desde este punto se incrementa la cantidad de biocemento, la resistencia aumenta con respecto a los porcentajes menores, pero siempre se mantiene por debajo del valor de control. El 10% de contenido es un punto de equilibrio en las mezclas, cualquier incremento en el biocemento ocasiona una disminución de la resistencia, debido a que cantidades mayores afectan la reactividad y la formación de cristales minerales.

El Gráfico 5.5 muestra los resultados de compresión simple realizados a morteros elaborados con el biocemento fabricado con concha calcinada a 150 °C (BC – 150) después de un curado por inmersión en agua durante 28 días. Los resultados muestran una disminución inmediata de la resistencia para cuando se utiliza 2% de biocemento, a partir de este contenido, se observa que en general, cada que aumenta el contenido de biocemento, disminuye la resistencia. Al contrario que en el caso de los morteros elaborados con el biocemento BC – 1000, en los morteros BC – 150 no se observa un pico de resistencia entre los morteros, esto debido a que en este último biocemento no hay óxido de calcio presente. Por lo que el efecto de este biocemento es solo disminuir las reacciones químicas y la dilución del cemento en la mezcla.

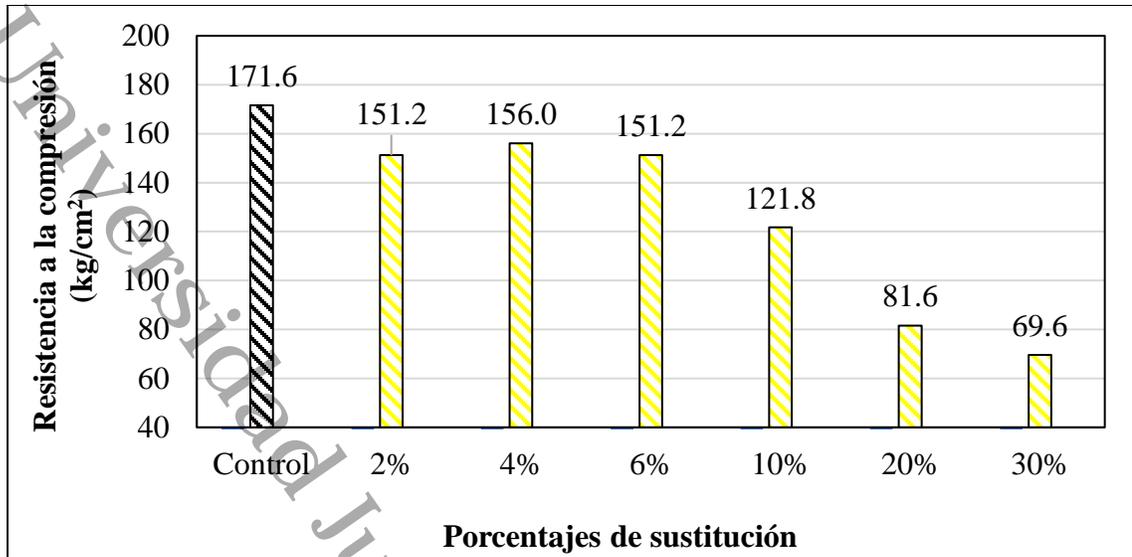


Gráfico 5.5 Resistencia a la compresión a sustitución parcial de 150°C

#### 5.4 Densidad en estado fresco y endurecido de morteros con BC – 1000

En los Gráficos 5.6 y 5.7 se muestran las densidades en estado fresco y endurecido de las mezclas de morteros elaborados con el biocemento BC-1000. Se observa que la densidad en estado fresco prácticamente se mantiene en valores similares al mortero de control, destacando ligeramente los morteros con 10% de biocemento. Lo anterior indica que agregar biocemento no afecta la densidad en estado fresco.

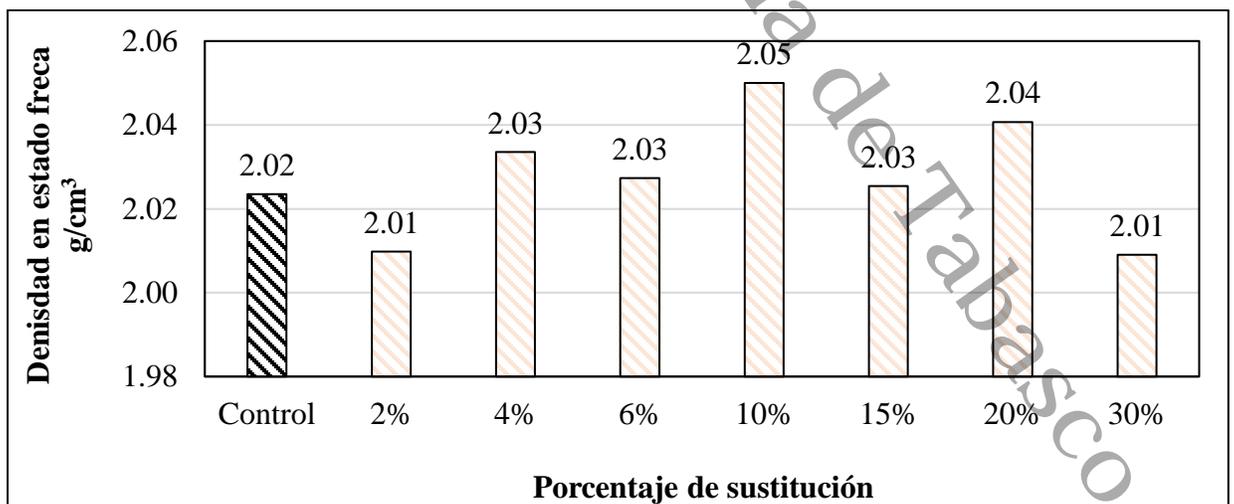
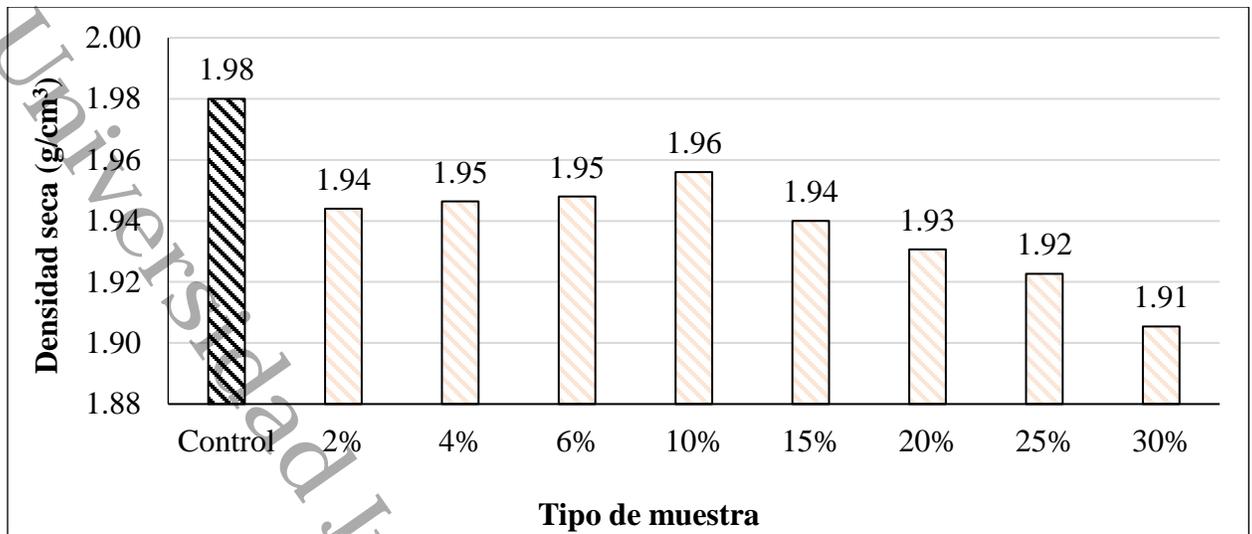


Gráfico 5.6 Densidad fresca de muestra de control y calcinado a 1000°C



**Gráfico 5.7 Densidad seca a sustitución parcial de 1000°C**

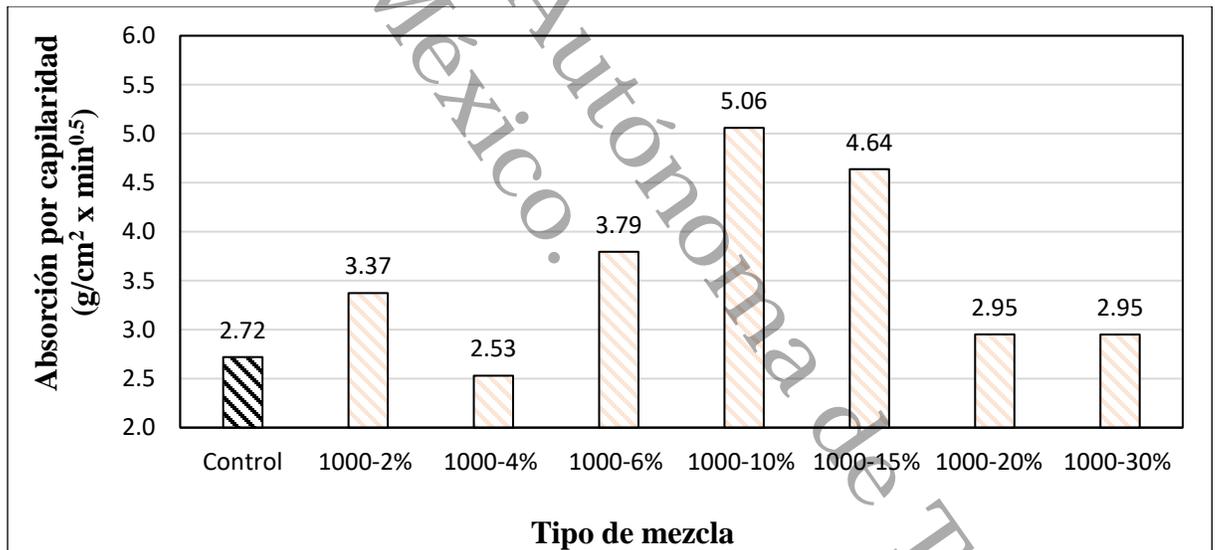
En lo que respecta a la densidad en estado endurecido se observa que los morteros elaborados con biocemento mostraron densidades menores al valor de control. Puede verse que las densidades se mantienen estables hasta el contenido de 10%, a partir de allí la densidad comienza a disminuir. Esto se debe a que aumentar la cantidad de biocemento disminuye la cantidad de reacciones químicas en la mezcla que dan origen a cristales minerales, lo que se refleja directamente en la densidad.

### **5.5 Absorción de agua por capilaridad y absorción total en morteros elaborados con BC – 1000**

Los Gráficos 5.8 y 5.9 muestran los resultados de los ensayos de absorción de agua por capilaridad y absorción total en las muestras de mortero. Se observa que la muestra con mayor absorción por capilaridad fueron las elaboradas con 10% de biocemento. Esto se debe a que la absorción por capilaridad es mayor en las muestras con poros de diámetro pequeño. Estos resultados concuerdan con lo observado en el desarrollo de la densidad en estado endurecido, las

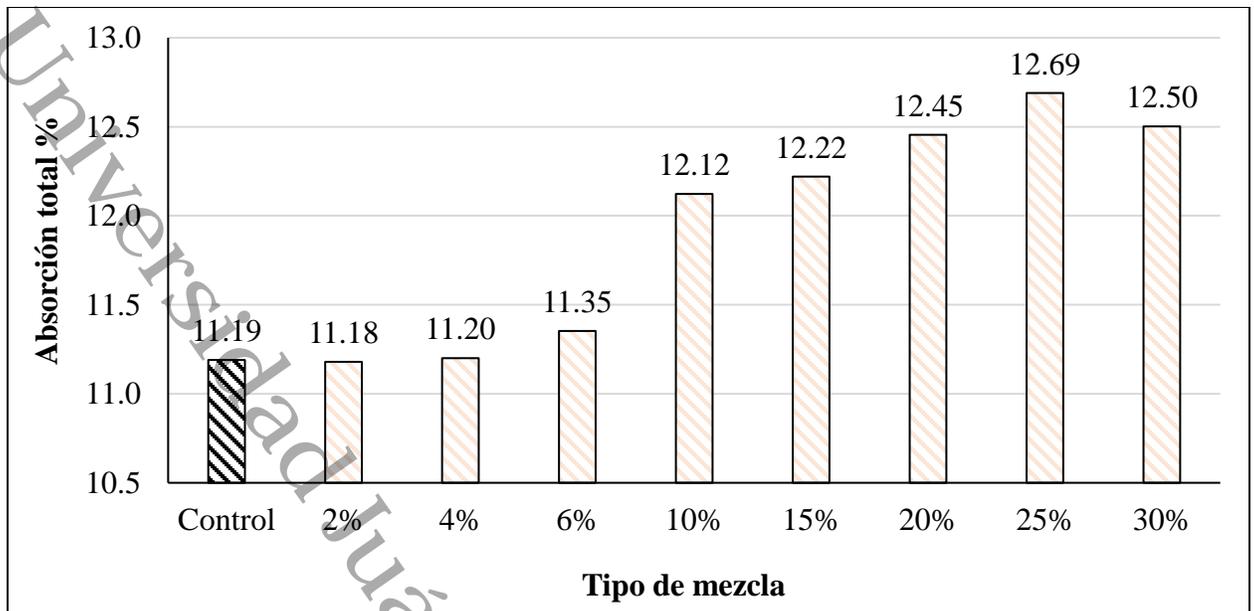
muestras con mayor densidad tienen menos poros grandes, más poros pequeños y más absorción capilar.

La absorción total refleja la capacidad total de los morteros de retener agua, es decir, el agua que se aloja en los poros pequeños y grandes. Esta propiedad es una medida indirecta de la porosidad desarrollada dentro de las muestras. En los resultados mostrados en el Gráfico 5.9 se observa que en los morteros con contenidos de biocementos por encima de 6% la absorción total crece por encima del valor de control. Lo que indica que para estos porcentajes los biocementos producen el desarrollo de la red de poros, lo que podría ser negativo para la durabilidad de los morteros.



**Gráfico 5.8 Absorción por capilaridad de muestras de mortero con biocemento BC-**

**1000**



**Gráfico 5.9 Absorción total de muestras de mortero con biocemento BC-1000**

### 5.6 Tiempo de fraguado en pasta de cemento

Los gráficos 5.10 y 5.11 muestran los tiempos de fraguado inicial y final, respectivamente, de pastas de cemento en las que se sustituyó parcialmente el cemento por biocemento BC-1000. Se observa que para las mezclas de hasta 10% de contenido de BC-1000, los tiempos de fraguado aumentan ligeramente (alrededor de 5%), y a partir de ese punto comienzan a descender, de manera que, para contenidos de 30% el tiempo de fraguado final se redujo 5.6%. El incremento en el tiempo de fraguado se debe a que el óxido de calcio (CaO) presente en el biocemento tiene una hidratación más lenta que el cemento comercial. La hidratación del cemento Portland involucra reacciones con silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S) y aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A); al sustituir al cemento por biocemento BC-1000, la hidratación se ralentiza porque el CaO compite por el agua disponible retrasando el tiempo de fraguado.

La disminución del tiempo de fraguado para los porcentajes superiores a 10% se debió a dos factores: (1) el óxido de calcio presente en los biocemento calcinados a temperaturas cercanas a 1000 °C genera un aumento de la alcalinidad, razón por la cual, al agregar a las pastas más biocemento BC-1000 la alcalinidad de las mezclas sube hasta un punto en el que se favorece la formación rápida de productos como el silicato cálcico hidratado (C-S-H) y el hidróxido de aluminio, que son esenciales para el fraguado; y (2) la reacción exotérmica del CaO con el agua eleva la temperatura de la mezcla, por lo que se aceleran las reacciones de hidratación del cemento Portland.

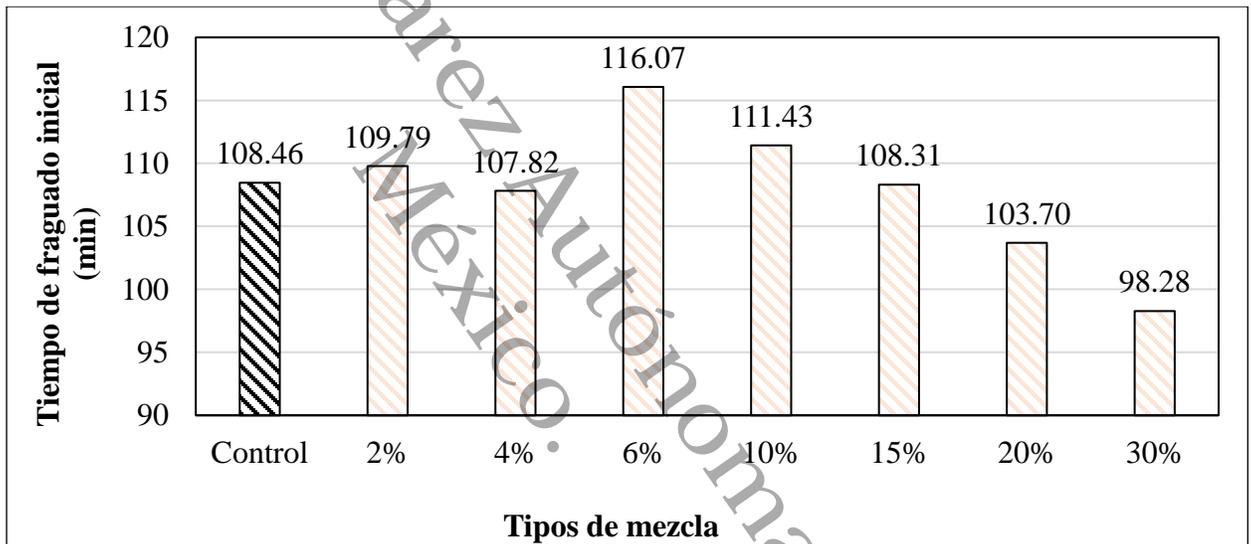
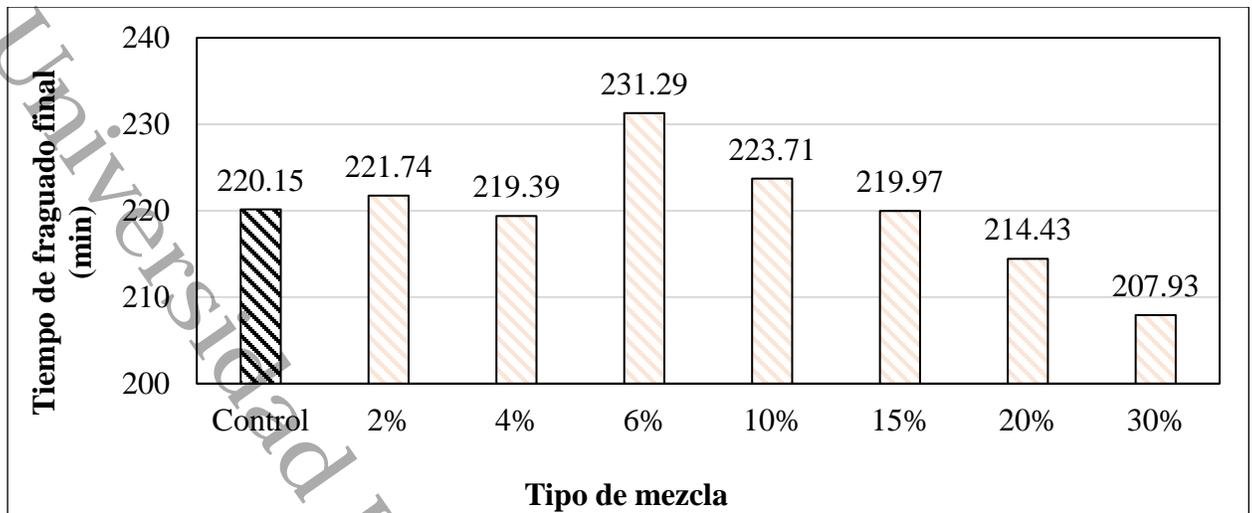
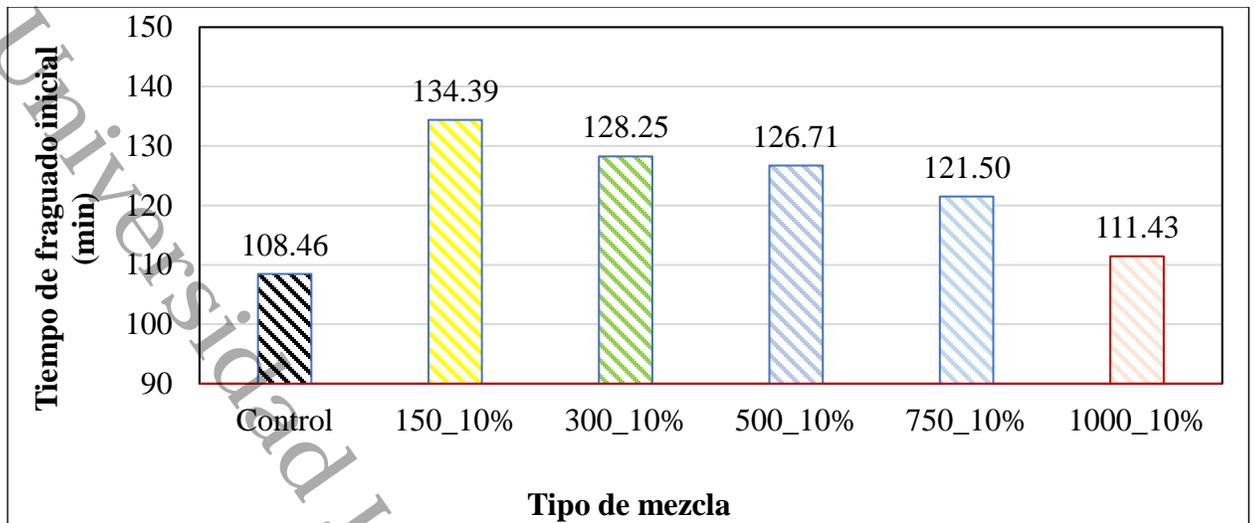


Gráfico 5.10 Tiempo de fraguado inicial

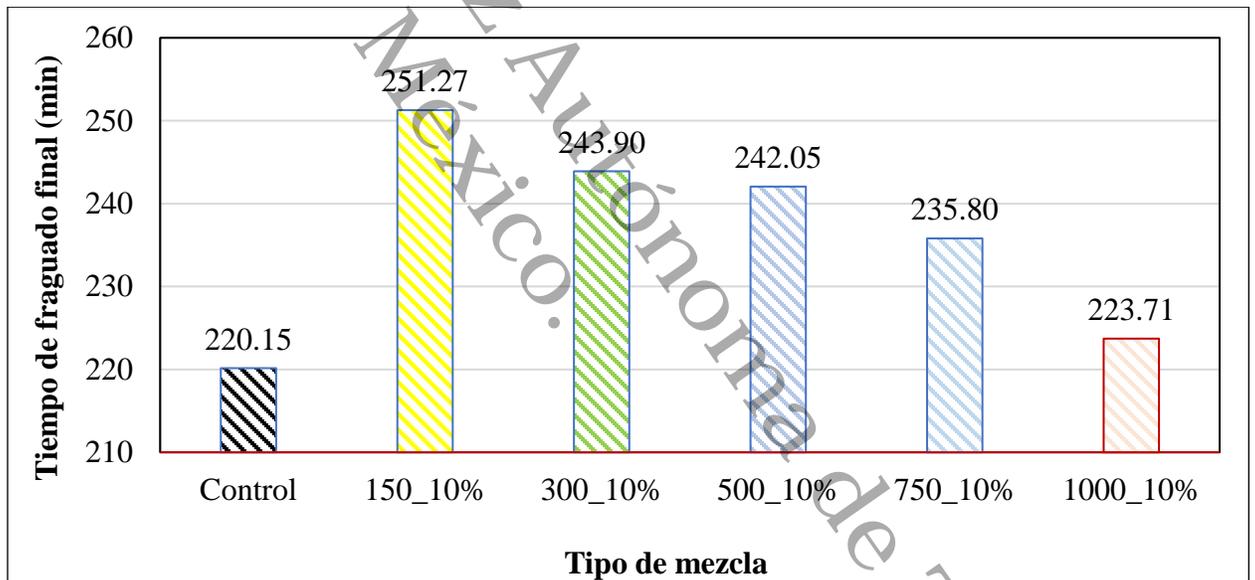


**Gráfico 5.11 Tiempo de fraguado final**

En los Gráficos 5.12 y 5.13 se muestran los tiempos de fraguado inicial y final de pastas de cemento elaboradas con los distintos tipos de biocementos estudiados en esta investigación a 10% de sustitución parcial del cemento. Se observa que temperaturas de calcinado bajas aumentan los tiempos de fraguado, esto debido a que no existe el suficiente óxido de calcio para realizar reacciones de hidratación. Como se vio anteriormente, aumentar la temperatura de calcinado aumenta la formación de óxido de calcio, por ello, el biocemento con mayor cantidad de este compuesto permite desarrollar más reacciones de hidratación que el resto de biocementos, reduciendo así los tiempos de fraguado.



*Gráfico 5.12 Tiempo de fraguado inicial*



*Gráfico 5.13 Tiempo de fraguado final*

## CONCLUSIONES

- Los análisis de difracción de rayos x mostraron que el principal compuesto de las conchas de ostión es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). El calcinado desde los  $700\text{ }^\circ\text{C}$  produce la transformación del carbonato de calcio en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) que es una forma reactiva de calcio y uno de los principales ingredientes del cemento comercial.
- 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 ( $\text{CaO}$ ) que se genera es menos denso que el ( $\text{CaCO}_3$ ).
- Los morteros elaborados con el biocemento BC-1000 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.
- La sustitución parcial del cemento comercial por los biocementos analizados en esta investigación generó una disminución de la densidad de los morteros, así como un aumento en su porosidad, lo que repercute negativamente en su durabilidad. Lo anterior se debe a que, a mayor número de poros, mayor será el paso de agua; y el agua es el principal vehículo de agentes contaminantes.

- Los análisis de tiempo de fraguado mostraron en general que los biocementos retardan el fraguado. Esto se debe a la baja reactividad del biocemento comparado con el cemento comercial. Entre más pequeña sea la temperatura de calcinado más tardará el fraguado. Sustituir al cemento comercial por biocemento BC-1000 hasta un 10% genera tiempos de fraguado muy similares al del cemento comercial.
- Una futura línea de investigación es analizar el comportamiento mecánico de los biocementos derivados de la concha de ostión adicionados con activadores químicos como las puzolanas.
- Es posible sustituir el cemento comercial por biocemento BC-1000 hasta en un 10%, siempre que solo se use en aplicaciones no estructurales, como plantillas, pisos de terrazas, elementos prefabricados de ornato, soportes temporales para varillas (gallitos), etc. Con esto se estaría incentivando el reciclaje de las conchas de ostión, reduciendo su acumulación excesiva y aumentando el ciclo de vida de este material.

## REFERENCIAS

*10 alternativas sostenibles a la construcción con hormigón – ECO-NOMIC ARCHITECTURE.*

(n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://ecosocialhouse.wordpress.com/2016/07/15/10-alternativas-sostenibles-a-la-construccion-con-hormigon/>

*102 colonias contaron con servicio de agua potable por red, el 10 de octubre, OOMSAPAS La*

*Paz. – OOMSAPAS LA PAZ.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://sapalapaz.gob.mx/102-colonias-contaron-con-servicio-de-agua-potable-por-red-el-10-de-octubre-oomsapas-la-paz/>

*325 polvo de piedra caliza de malla CaCO<sub>3</sub> para desulfuración de plantas de energía - China*

*Caliza, Carbonato de Calcio.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from [https://es.made-in-china.com/co\\_tddkuajing/product\\_325-Mesh-Limestone-Powder-CaCO3-for-Power-Plant-Desulfurization\\_ysreysuhg.html](https://es.made-in-china.com/co_tddkuajing/product_325-Mesh-Limestone-Powder-CaCO3-for-Power-Plant-Desulfurization_ysreysuhg.html)

Adam M. Neville. (1999). *Tecnología del concreto* (Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial. Registro # 1052, Ed.; 1st ed., Vol. 1). 2013.

Ana Isan. (2024, June 6). *Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas.* <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>.

Andrade Neto, J. da S., De la Torre, A. G., & Kirchheim, A. P. (2021). Effects of sulfates on the hydration of Portland cement – A review. *Construction and Building Materials*, 279, 122428. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122428>

- Aparato de consistencia Vicat - BSmart.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://bsmart.com.pe/product/aparato-de-consistencia-vicat/>
- APARATO VICAT - Mecánica Científica.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://www.mecacisa.com/es/portfolio/aparato-vicat/>
- Arena de RÍO 6MT3 - Materiales Los Pinos.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <http://www.materialeslospinos.com/producto/arena-de-rio-6mt3/>
- Avanza Equipos de Pesaje.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://www.autopesaje.com/productos/balanza-mecanica-triple-brazo-pro-710-00-ohaus/>
- BANDEJA ANTIDERRAME METÁLICA | acero galvanizado.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://resitransgroup.com/portal/producto/bandeja-antiderrame/>
- Bellei, P., Torres, I., Solstad, R., & Flores-Colen, I. (2023). Potential Use of Oyster Shell Waste in the Composition of Construction Composites: A Review. *Buildings*, 13(6), 1546. <https://doi.org/10.3390/buildings13061546>
- Bentur, A. (2003). Closure to “Cementitious Materials— Nine Millennia and a New Century: Past, Present, and Future” by Arnon Bentur. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(4), 412–412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:4\(412\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:4(412))
- Bentz, D. P., Garboczi, E. J., Haecker, C. J., & Jensen, O. M. (1999). Effects of cement particle size distribution on performance properties of Portland cement-based materials. *Cement and Concrete Research*, 29(10), 1663–1671. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00163-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00163-5)

*Bidón Garrafa Gasolina 10 Litros Contenedor Bote | MercadoLibre.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1394873583-bidon-garrafa-gasolina-10-litros-contenedor-bote-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1394873583-bidon-garrafa-gasolina-10-litros-contenedor-bote-_JM)

*Cemento | Cemento y Concreto Moctezuma.* (n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://www.cmoctezuma.com.mx/cemento>

*Cemento – Cemento Cruz Azul.* (n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://www.cementocruzazul.com.mx/productos/cemento/>

Chinchillas-Chinchillas, M. J., Cortez-Rodríguez, H., Fajardo-San Miguel, G. J., Pellegrini-Cervantes, M. J., Rodríguez-Rodríguez, M., Corral-Higuera, R., Arredondo-Rea, S. P., Gaxiola, A., & Castro-Beltrán, A. (2024). Recycled cement mortars reinforced with PVDF nanofibers synthesized by electrospinning. *Journal of Building Engineering*, 86, 108663. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108663>

*Cocción de ostras con su concha | sous-vide cooking | FAQsous Vide Cooking.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://www.sous-vide.cooking/es/coccion-de-ostras-con-su-concha/>

*Concha de Ostión Vacía – El Pescado Feliz.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://elpescadofeliz.com/producto/concha-de-ostion-vacia/>

*CONOCIENDO LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO: ¿QUÉ Y CÓMO? - 360 EN CONCRETO.* (n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-fisicas-del-cemento/>

- Cristhian Ricardo Jaimes Guio, L. V. M. S. (2022). Análisis ambiental de los efectos del uso del cemento basado en estudios a nivel mundial. *UNIVERSIDAD MARIANA* , 1–13.
- Daniela Stefanya Cañarte Pico, Y. R. B. C. J. C. G. M. (2023). Estudio comparativo del comportamiento de morteros de albañilería elaborados con varios tipos de agregados fino. *Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*, 1–18.
- 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). Reuso de desechos de conchas de ostión «*crassostrea virginica*». para la obtención de un material como aglomerante de mortero a partir de tratamientos de molienda y calcinación. *Revista Espacio I+D Innovación Más Desarrollo*, 5(12), 38–48. <https://doi.org/10.31644/IMASD.12.2016.a03>
- Del concreto reciclado se obtendría un mortero más durable.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/del-concreto-reciclado-se-obtendria-un-mortero-mas-durable>
- DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN. (1991). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO* (BIBLIOTECA DE CONSTRUCCION, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- Dr I .C.Sharma, & Gori Shankar Soni. (2024). Assessment of Limestone Dust and Chips as Eco-friendly Alternatives in Concrete Production. *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA)*, 11.
- El vestigio arqueológico maya “hecho” de concha de ostión – El Financiero.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://www.elfinanciero.com.mx/culturas/el-vestigio-arqueologico-maya-hecho-de-concha-de-ostion/>

*Espátula de yeso dental para modelar, tallador, restaurador, laboratorio de mezcla :*  
*Amazon.com.mx: Hogar y Cocina.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://www.amazon.com.mx/Esp%C3%A1tula-Modelado-Restaurativo-Laboratorio-Instrumentos/dp/B01BFJQS64>

*Estufa De Gas 2 Quemadores Foy 144705 - Ferreterias Calzada.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://ferreteriacalzada.mx/producto/estufa-de-gas-2-quemadores-foy-144705/>

*Flexómetro cinta negra Numero Blanco 5.5mt 27mm Truper 11745 | Meses sin interés.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1609266709-flexometrocinanegra-numero-blanco-55mt-27mm-truper-11745-\\_JM?variation=#reco\\_item\\_pos=1&reco\\_backend=ranker\\_retrieval\\_system\\_vpp\\_v2p&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vpp-pdp-v2p-pom&reco\\_id=3c7adf81-87e7-47dd-95e7-80873fa74f9d&reco\\_model=ranker\\_entity\\_v2](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1609266709-flexometrocinanegra-numero-blanco-55mt-27mm-truper-11745-_JM?variation=#reco_item_pos=1&reco_backend=ranker_retrieval_system_vpp_v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vpp-pdp-v2p-pom&reco_id=3c7adf81-87e7-47dd-95e7-80873fa74f9d&reco_model=ranker_entity_v2)

*Franela Toalla Microfibra 40 X 40 Cm Paq. 6 Piezas 3 Colores | MercadoLibre.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2516516960-franela-toalla-microfibra-40-x-40-cm-paq-6-piezas-3-colores-\\_JM?variation=178667803530#reco\\_item\\_pos=1&reco\\_backend=ranker\\_retrieval\\_system\\_vpp\\_v2p&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vpp-v2p-pom&reco\\_id=661597bd-463d-41a9-9401-b81b0636a1b0&reco\\_model=ranker\\_entity\\_v2](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2516516960-franela-toalla-microfibra-40-x-40-cm-paq-6-piezas-3-colores-_JM?variation=178667803530#reco_item_pos=1&reco_backend=ranker_retrieval_system_vpp_v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vpp-v2p-pom&reco_id=661597bd-463d-41a9-9401-b81b0636a1b0&reco_model=ranker_entity_v2)

*Funcionamiento manual del flujo de mortero de cemento de aparatos de mesa - China Prueba de fluidez de la tabla, tabla de flujo.* (n.d.). Retrieved November 28, 2024, from [https://es.made-in-china.com/co\\_chinesemoulds/product\\_Manual-Operation-Cement-Mortar-Flow-Table-Apparatus\\_ehihueehy.html](https://es.made-in-china.com/co_chinesemoulds/product_Manual-Operation-Cement-Mortar-Flow-Table-Apparatus_ehihueehy.html)

- Gowram, I., M. B., Sudhir, M., Mohan, M. K., & Jain, D. (2021). Efficacy of Natural Zeolite and Metakaolin as Partial Alternatives to Cement in Fresh and Hardened High Strength Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/4090389>
- Hernández-Zamora, M. F., Jiménez-Martínez, S. I., & Sánchez-Monge, J. I. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
- Horkoss, S., Escadeillas, G., Rizk, T., & Lteif, R. (2016). The effect of the source of cement SO 3 on the expansion of mortars. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.12.004>
- Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a Compresión de Especímenes. (n.d.). NMX-C-083-ONNCCE-2014. *NMX-C-083-ONNCCE-2014*.
- Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Resistencia a Compresión en Especímenes. (n.d.). NMX-C-037-ONNCCE-2013. *NMX-C-037-ONNCCE-2013*.
- J Dransfield. (2003). *Advanced concrete technology* (B. S. C. John Newman, Ed.).
- Kusha Ghoreishi Karimi. (2011). Ecomateriales y Construcción Sostenible . *Gestión de Las Industrias de La Eco-Innovación* , 1–55.
- Ladrillos ecológicos o ecoladrillos: tipos y ventajas*. (n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://www.pintuco.com.co/blog/construccion/sostenibilidad/ladrillos-ecologicos/>

Leão, L. S., Spini, G. P., de França, M. S., & Costa, E. B. C. (2024). Recycled expanded polystyrene (EPS) as an eco-friendly alternative for sand in rendering mortars. *Construction and Building Materials*, 414, 135018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135018>

*LO QUE DEBES SABER SOBRE EL ATAQUE DE SULFATO EN EL CONCRETO - 360 EN CONCRETO.* (n.d.). Retrieved November 22, 2024, from <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>

*Loseta de vidrio cuadrada 20x20 cms.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://ddazul.com/249-otros/410-otros/3421-loseta-de-vidrio-cuadrada-20x20-cms.html>

*Metacaolín De Alta Reactividad Para Cemento, alta calidad Metacaolín De Alta Reactividad Para Cemento en bossgoo.com.* (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://es.bossgoo.com/product-detail/high-reactivity-metakaolin-for-cement-58319983.html>

*Molino Manual Para Granos Marca Del Rey Color Plata | Meses sin interés.* (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2370606344-molino-manual-para-granos-marca-del-rey-color-plata-\\_JM?variation=#reco\\_item\\_pos=1&reco\\_backend=ranker\\_retrieval\\_system\\_vpp\\_v2p&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vpp-v2p-pom&reco\\_id=ae0ff36f-a8ed-462e-b973-79930d20cbd7&reco\\_model=ranker\\_entity\\_v2](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2370606344-molino-manual-para-granos-marca-del-rey-color-plata-_JM?variation=#reco_item_pos=1&reco_backend=ranker_retrieval_system_vpp_v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vpp-v2p-pom&reco_id=ae0ff36f-a8ed-462e-b973-79930d20cbd7&reco_model=ranker_entity_v2)

Mora-Ortiz, R. S., Del Angel-Meraz, E., Díaz, S. A., Munguía-Balvanera, E., Magaña-Hernández, F., Alavez-Ramírez, J., Pantoja Castro, M. A., & Torres-Hernández, J. del R. (2023). The Use of Pre-Wetting to Improve the Mechanical Behavior of Masonry Mortar Elaborated with Crushed Oyster Shell. *Sustainability*, 16(1), 199. <https://doi.org/10.3390/su16010199>

*Mortero* - *Los Albañiles*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://losalbaniles.com/diccionario-de-la-construccion/mortero/>

*Oppo: Usar el Cronómetro* | *TechBone*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://www.techbone.es/oppo/cronometro>

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). (n.d.). NMX-C-486-ONNCCE-2014. *NMX-C-486-ONNCCE-2014*.

*Pie De Rey Calibrador Vernier Analogo Industrial 8 Pulgadas* | *Envío gratis*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-604962167-pie-de-rey-calibrador-vernier-analogo-industrial-8-pulgadas-\\_JM?variation=#reco\\_item\\_pos=2&reco\\_backend=ranker\\_retrieval\\_system\\_vpp\\_v2p&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vpp-v2p-pom&reco\\_id=6f69ad4a-e9c5-4f11-823e-235885072170&reco\\_model=ranker\\_entity\\_v2](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-604962167-pie-de-rey-calibrador-vernier-analogo-industrial-8-pulgadas-_JM?variation=#reco_item_pos=2&reco_backend=ranker_retrieval_system_vpp_v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vpp-v2p-pom&reco_id=6f69ad4a-e9c5-4f11-823e-235885072170&reco_model=ranker_entity_v2)

*Probeta De Vidrio Para Gravedad Específica - Le Chatelier* | *MercadoLibre*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from [https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-530359627-probeta-de-vidrio-para-gravedad-especifica-le-chatelier-\\_JM#polycard\\_client=search-nordic&position=1&search\\_layout=grid&type=item&tracking\\_id=520acb7f-9669-4694-9f41-9cd09dc8d92c](https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-530359627-probeta-de-vidrio-para-gravedad-especifica-le-chatelier-_JM#polycard_client=search-nordic&position=1&search_layout=grid&type=item&tracking_id=520acb7f-9669-4694-9f41-9cd09dc8d92c)

*Probeta vidrio 100 ml* - *Farmacia Mexicana*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://farmacia-mexicana.com/product/probeta-vidrio-100-ml/>

Resende, D. M., Mendes, V. F., Carvalho, V. R., Nogueira, M. A., de Carvalho, J. M. F., & Peixoto, R. A. F. (2024). Coating mortars produced with recycled PET aggregates: A technical,

- environmental, and socioeconomic approach applied to Brazilian social housing. *Journal of Building Engineering*, 83, 108426. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108426>
- RETEMA. (2019, July 16). *Desarrollan nuevos morteros reciclados para la construcción de edificios*. RETEMA REVISTA TECNICA DE MEDIO AMBIENTE.
- RODRIGO SALAMANCA CORREA. (2001). La Tecnología de los Morteros. *Universidad Militar Nueva Granada*, 12-diciembre.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.208>
- San Nicolas, R., Wang, T., & Rupasinghe, M. (2024). Effect of calcined clays from Victoria, Australia as cement substitution in ternary blended cement systems. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02860. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02860>
- Scrivener, K. L., & Nonat, A. (2011). Hydration of cementitious materials, present and future. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 651–665. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.026>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, January 24). *Ostión, recurso importante para miles de pescadores en México*. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/ostion-recurso-importante-para-miles-de-pescadores-en-mexico?idiom=es-mx>.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario, F. y P. (2024, February 26). *OSTIÓN*. <https://campotabasco.gob.mx/?pesquero=ostion>.

Shao, S., Zhu, H., Guo, M., & Zhang, Y. (2024). Application of waste oyster shells in construction: Overview, constitutive modeling, and life cycle assessment. *Journal of Building Engineering*, 87, 108965. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108965>

SPARTA 3662000 Flo-Pac - cepillo para polvo de limpieza con mango de plástico, cerdas de nailon, ribete de cerdas de 2 pulgadas, 8 pulgadas de longitud, blanco, 1 unidad (paquete de 1): *Amazon.com.mx: Hogar y Cocina*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from [https://www.amazon.com.mx/Carlisle-FoodService-Products-Flo-Pac%C2%AE-inch\\_P/dp/B002FR5IGC?th=1](https://www.amazon.com.mx/Carlisle-FoodService-Products-Flo-Pac%C2%AE-inch_P/dp/B002FR5IGC?th=1)

Standard Test Method for Density, A. and V. in H. C. (n.d.). ASTM C642. *ASTM C642*.

Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. (n.d.). ASTM C188-17 (2023). *ASTM C188-17 (2023)*.

Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. (n.d.). ASTM C191. *ASTM C191*.

Tamiz Estandar De 8'', De Diámetro, No 4 (4.75 Mm) De Malla Inoxidable Con Marco De Latón Y 2'' (50 Mm) Completas De Profundidad» *COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, Auscultación, Geofísica, Ingeniería*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://www.cotecno.cl/tamiz-estandar-de-8-de-diametro-no-4-4-75-mm-de-malla-inoxidable-con-marco-de-laton-y-2-50-mm-completas-de-profundidad/>

TAMIZADORA PARA TAMICES CON AJUSTE DE FRECUENCIA | *Testmak*. (n.d.). Retrieved November 27, 2024, from <https://www.testmak.com/es/Tamizadora-Para-Tamices-Con-Ajuste-de-Frecuencia>

- Wu, H., Gao, J., Liu, C., Luo, X., & Chen, G. (2024). Combine use of 100% thermoactivated recycled cement and recycled aggregate for fully recycled mortar: Properties evaluation and modification. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141841. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141841>
- Xia, P., Wang, S., Chen, K., Meng, T., Chen, X., & Gong, F. (2024). A recycling approach of natural stone from crushed concrete based on freeze-thaw modification and usage of spalling mortar as recycled fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 416, 135287. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135287>
- Yu, Z., Ni, C., Tang, M., & Shen, X. (2018). Relationship between water permeability and pore structure of Portland cement paste blended with fly ash. *Construction and Building Materials*, 175, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.147>
- Zeolita. *Zeonat. Green-Farming-Water-Nutrition - Minerals & Fillers*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://mineralsfillers.com/zeolita/>
- Zhang, H., Zhang, C., He, B., Yi, S., & Tang, L. (2023). Recycling fine powder collected from construction and demolition wastes as partial alternatives to cement: A comprehensive analysis on effects, mechanism, cost and CO<sub>2</sub> emission. *Journal of Building Engineering*, 71, 106507. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106507>

Anexo 7

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	ELABORACIÓN DE MORTERO CON BIOCEMENTO A BASE DE CONCHAS DE OSTIÓN CALCINADAS
<b>Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:</b>	José Reyes Jiménez Bautista Karla Jazmín Rodríguez Martínez
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0008-8341-9400">https://orcid.org/0009-0008-8341-9400</a> <a href="https://orcid.org/0009-0007-9523-8511">https://orcid.org/0009-0007-9523-8511</a>
<b>Resumen de la Tesis:</b>	<p>La presente investigación tuvo como propósitos incentivar el reciclaje de la concha de ostión generada por la industria alimenticia en Tabasco, así como desarrollar materiales de calidad innovadores. Se propuso la utilización de la concha de ostión como sustituto parcial del cemento Portland compuesto. Para lograr lo anterior, la concha de ostión se separó en cinco grupos, cada uno de ellos fue calcinado por separado a diferentes temperaturas (150, 300, 500, 750 y 1000 °C), después cada uno de ellos fue</p>

	<p>triturado y tamizado por separado. A los resultados de este proceso se les llamó biocementos. Para evaluar los cambios en las propiedades mecánicas del cemento, se le sustituyó parcialmente en diferentes porcentajes por biocemento a base de concha de ostión. Los resultados mostraron que es factible sustituir el cemento Portland hasta en un 10 % por biocemento de ostión que haya sido calcinado a 1000 °C. Esto se debe a que esta temperatura genera la transformación del carbonato de calcio (principal mineral del ostión) en óxido de calcio (uno de los principales ingredientes del cemento Portland). Implementar el reciclaje de la concha de ostión permitirá contribuir a la reducción de la acumulación de este material, ayudando a prevenir la proliferación de mosquitos y aportar para reducir la huella de dióxido de carbono que la industria del cemento genera.</p>
--	--

<b>Palabras claves de la Tesis:</b>	Biocemento, fraguado, densidad, absorción, conchas de ostión.
<b>Referencias citadas:</b>	

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.