



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



“Formulación de Mezclas de Concreto Hidráulico Adicionado con CaCO_3 de Origen Biogénico”

TESIS

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias en Ingeniería

Presenta:

IQ. Ana María León Ramos

Directora:

Dra. Laura Lorena Díaz Flores

Cunduacán, Tabasco, México

Noviembre de 2025

Declaración de Autoría y Originalidad

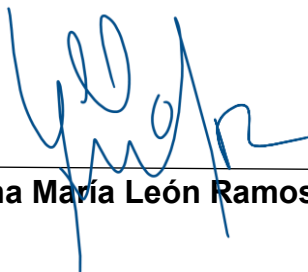
En la Ciudad de Cunduacán, Tabasco, el día 09 del mes de noviembre del año 2025, la que suscribe IQ. Ana María León Ramos, alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería con número de matrícula 182D19009, adscrita a la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora de la Tesis presentada para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Ingeniería y titulada "Formulación de Mezclas de Concreto Hidráulico Adicionado con CaCO_3 de Origen Biogénico" dirigida por la Dra. Laura Lorena Díaz Flores.

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 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.

Cunduacán, Tabasco a 09 de noviembre de 2025.



IQ Ana María León Ramos

DIRECCIÓN

OFICIO: DAIA/DIR/1608/2025
FECHA: 11 de noviembre de 2025
ASUNTO: Autorización de
impresión definitiva

IQ. ANA MARÍA LEÓN RAMOS
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
P R E S E N T E

En virtud de haber elaborado su trabajo de Tesis denominado:

"Formulación de mezclas de concreto hidráulico adicionado con CaCO_3 de origen biogénico"

Para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Ingeniería** y en la cual ha tenido como Directora de Tesis a la Dra. Laura Lorena Díaz Flores.

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

Sin otro particular, le envío un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE



DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ
DIRECTORA

c.c.p. Archivo
DRA'DMFM / MCA'RACT



DIRECCIÓN



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura



JEFATURA DE POSGRADO

Cunduacán, Tabasco a 10 de noviembre de 2025.

MEM/AP-DAIA/211/2025

PARA **DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**
DIRECTORA DE LA DAIA
DE: COMISIÓN SINODAL
ASUNTO: APROBACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS DE MAESTRÍA

Una vez hecha la revisión detallada del Trabajo de Tesis denominado:

"Formulación de mezclas de concreto hidráulico adicionado con CaCO₃ de origen biogénico"

Desarrollado por el I.Q.: **Ana María León Ramos**, de la **Maestría en Ciencias en Ingeniería**, le comunicamos que aceptamos la impresión del trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMITÉ SINODAL


DR. ERIK RAMÍREZ MORALES
PRESIDENTE


DR. EDGAR VICENTE MACÍAS MELO
SECRETARIO


DRA. LAURA LORENA DÍAZ FLORES
VOCAL 1


DR. PÍO SIFUENTES GALLARDO
VOCAL 2


DR. JOSÉ LUIS CERVANTES LÓPEZ
VOCAL 3

Carta de Cesión de Derechos

Cunduacán, Tabasco a 09 de noviembre de 2025

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORAS en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "Formulación de Mezclas de Concreto Hidráulico Adicionado con CaCO_3 de Origen Biogénico".

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 periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



IQ Ana María León Ramos
EGRESADA



Dra. Laura Lorena Díaz Flores
DIRECTORA

TESTIGOS



MCI Saúl García López



Dra. Angélica Silvestre López
Rodríguez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dedicada A mi amado padre, cuya ausencia física nunca podrá borrar su amor ni su ejemplo.

“Ni la muerte, ni la vida... podrá separarnos del amor de Dios, que es en Cristo Jesús Señor nuestro.” (Romanos 8:38-39)

Agradecimientos:

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades y Tecnología, por el apoyo brindado a través de la Beca Número de Apoyo: 722928, que hizo posible la realización de mis estudios de maestría.

Agradezco profundamente al Posgrado en Ciencias en Ingeniería de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por brindarme los conocimientos, las herramientas y el acompañamiento necesarios para el desarrollo de esta investigación.

De manera especial, expreso mi gratitud a la Dra. Laura Lorena Díaz Flores, mi directora de tesis, por su guía, paciencia y orientación constante durante todo este proceso. Su compromiso académico y humano fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi reconocimiento al comité revisor, integrado por el Dr. Erik Ramírez Morales, Dr. Edgar Vicente Macías Melo, Dr. Pío Sifuentes Gallardo y Dr. José Luis Cervantes López, por sus valiosas observaciones, tiempo y disposición para mejorar el presente estudio.

En un plano más personal, doy gracias infinitas a Dios, por darme la oportunidad de vivir, de sanar y de continuar mi camino después de haber superado el cáncer. Su amor y misericordia me sostuvieron en los momentos más difíciles y me permitieron llegar hasta aquí con fe renovada y esperanza firme.

A mi familia, por su amor incondicional, por cada palabra de aliento y por ser mi mayor inspiración. Su presencia constante fue la fuerza que me impulsó a no rendirme y a creer que los milagros existen.

*“Y me ha dicho: Bástate mi gracia; porque mi poder se perfecciona en la debilidad.”
(2 Corintios 12:9)*

INDICE DE CONTENIDO

Declaración de Autoría y Originalidad.....	2
Carta de Cesión de Derechos.....	5
Dedicatoria (opcional):.....	6
Agradecimientos:.....	7
TÍTULO.....	111
RESUMEN.....	122
ABSTRACT.....	133
PALABRAS CLAVE:.....	133
INTRODUCCIÓN.....	144
CAPÍTULO I.....	177
MARCO TEÓRICO.....	177
1.1 Antecedentes.....	177
1.1 Morteros de albañilería.....	20
1.1.1 Componentes de mezclas de morteros y concretos.....	20
1.1.1 Composición química del cemento.....	211
1.1.2 Características fisicoquímicas de la arena.....	222
1.1.3 Características fisicoquímicas de la grava.....	232
1.1.4 Composición química del agua.....	233
1.1.5 Composición de la concha de ostión triturada.....	233
1.2 Normas de construcción.....	243
1.2.1 Granulometría.....	244
1.2.2 Absorción del agua.....	254
1.2.3 Masa volumétrica.....	255
1.3 Fabricación de morteros.....	255
1.4 Fabricación de concretos.....	255
JUSTIFICACIÓN.....	277
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	288
HIPÓTESIS.....	288
OBJETIVO GENERAL.....	288
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	288
CAPÍTULO II.....	299

METODOLOGÍA	299
2.1 Materiales.	309
2.2 Métodos.	30
2.2.1 Pruebas realizadas a los materiales.	30
2.2.1.1 Prueba de absorción de agua.	30
2.2.1.2 Peso volumétrico suelto y compacto.	311
2.2.1.3 Granulometría.	311
2.2.2 Dosificación de mezcla y fabricación de especímenes.	322
2.2.3 Dosificación de mezcla y fabricación de cilindros de concreto.	333
2.2.4 Prueba de Absorción capilar en morteros cúbicos adicionados con CaCO₃ de origen biogénico.	343
CAPÍTULO III	344
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	344
3.1 Análisis de agregados finos y gruesos.	344
3.2 Granulometría arena.	355
3.3 Granulometría grava.	376
3.4 Efecto de la adición de CaCO₃ de origen biogénico en especímenes cúbicos de 5 cm.	387
3.5 Efecto de la adición de CaCO₃ en las propiedades mecánicas de la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto hidráulico.	411
3.6 Análisis de absorción capilar de concreto adicionado con CaCO₃ de origen biogénico.	444
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	499
REFERENCIAS	521
Anexo	565
Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	565

Índice de Figuras

Figura 1. Reacciones en un horno rotatorio (clínker).....	21
Figura 2. Procedimiento para el análisis de absorción de agua en agregados.....	30
Figura 3. Procedimiento para el análisis de peso volumétrico compacto.....	31
Figura 4. Procedimiento para el análisis de granulometría en agregados finos.....	31
Figura 5. Gráfica comparativa de máximos y mínimos en el análisis granulométrico de la arena.....	34
Figura 6. Gráfica comparativa de máximos y mínimos en el análisis granulométrico de la grava.....	406
Figura 7. Especímenes cúbicos de 5 cm ³ fabricados con cemento Portland ordinario (CPO), arena, agua y polvos de concha de ostión.....	38
Figura 8. Gráfica de peso y medida promedio de especímenes cúbicos de 5 cm ³	40
Figura 9. Gráfica de resistencia a la compresión de morteros cúbicos de 5 cm ³	40
Figura 10. Fraguado de cilindros de concreto hidráulico.....	42
Figura 11. Curado de cilindros de concreto hidráulico.	42
Figura 12. Prueba de compresión en cilindros de concreto hidráulico.....	42
Figura 13. Gráfica comparativa de resistencia mecánica de cilindros de concreto adicionados y no adicionados con CaCO ₃	4444
Figura 14. Gráfico comparativo de la absorción capilar de las muestras de concreto con adición y sin adición de CaCO ₃ en función del tiempo.	47

Índice de Tablas.

Tabla 1. Principales Compuestos Químicos del Cemento.....	23
Tabla 2. Principales usos y ventajas del concreto simple y reforzado.....	26
Tabla 3. Pruebas de calidad de agregados finos.	30
Tabla 4. Dosificación de morteros de 5 cm ³	32
Tabla 5. Dosificación de especímenes cilíndricos.....	33
Tabla 6. Análisis de agregados de mezclas de concreto.....	35
Tabla 7. Análisis granulométrico de arena del Banco Samaria 2	35
Tabla 8. Análisis granulométrico de grava de río.	37
Tabla 9. Clave y dosificación de especímenes cúbicos.	39
Tabla 10. Clave y dosificación de cilindros de concreto.....	43
Tabla 11. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.	43
Tabla 12. Resultados de absorción capilar en morteros con CaCO ₃	45
Tabla 13. Resultados de absorción capilar en morteros sin aditivo.	46
Tabla 14. Resultados del ensayo de absorción capilar.	48

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

TÍTULO

“Formulación de Mezclas de Concreto Hidráulico Adicionado con CaCO_3 de Origen Biogénico”

RESUMEN

Las conchas de ostión (*Crassostrea virginica*) representan un desecho ambiental que afecta al Estado de Tabasco, uno de los principales productores a nivel nacional, la acumulación de residuos provoca problemas de higiene y proliferación de plagas. Estas conchas están compuestas principalmente por carbonato de calcio. El carbonato de calcio (CaCO_3) tiene efectos positivos al incluirlo como aditivo en la mezcla de concreto, que, al rellenar los microporos del concreto, ayuda a la microestructura del concreto mejorando la resistencia y la impermeabilidad. aprovechándose para reducir el uso de concreto en la mezcla, con impacto económico en el costo y ambiental al reducir emisiones de la producción de concreto. El CaCO_3 biogénico fue incorporado en las mezclas de mortero en proporciones entre el 5% y el 15% respecto al volumen de cemento. Se evaluó su impacto en la resistencia a la compresión de los morteros, de acuerdo con la norma *NMX-C-083-ONNCCE-2014* (ONNCCE, 2014).

Tras analizar los resultados, se determinó que el porcentaje óptimo de CaCO_3 , mejoró la resistencia a la compresión de los morteros, incrementándola en un 41.53% respecto a las muestras sin aditivos. Se repitió el análisis en probetas cilíndricas, utilizando el porcentaje de 8%. Los resultados mostraron que el rendimiento difería, observándose una disminución de la resistencia del 3.2 % a los 28 días de curado. Sin embargo, en ambos casos se alcanzó la resistencia mínima requerida según el diseño de la mezcla (350 kg/cm^2).

Finalmente, se realizó un análisis de absorción capilar (ASTM International, 2013) para evaluar la permeabilidad de las mezclas con aditivo. Los resultados indicaron que las muestras sin aditivos presentaron el doble de velocidad en la absorción secundaria en comparación con las muestras que contenían CaCO_3 . Los resultados obtenidos en los ensayos de morteros y concretos sustentan la propuesta de utilizar el CaCO_3 derivado

de conchas de ostión como aditivo. Este material no solo mejora la resistencia y la permeabilidad de las mezclas, sino que ofrece beneficios económicos, dependiendo del volumen de mezcla utilizado.

ABSTRACT

Oyster shells (*Crassostrea virginica*) represent an environmental waste that negatively affects the state of Tabasco. These shells are mainly composed of calcium carbonate. The biogenic CaCO_3 was incorporated into mortar mixtures in proportions between 5% and 15% relative to the volume of cement. Subsequently, its impact on the compressive strength of the mortars was evaluated, according to the standard *NMX-C-083-ONNCCE-2014* (ONNCCE, 2014). After analyzing the results, it was determined that the optimal percentage of CaCO_3 , which significantly improved the compressive strength of the mortars, was 8%, increasing it by 41.53% compared to the samples without additives. Subsequently, the analysis was repeated on cylindrical specimens, using the same percentage (8%). The results showed that performance varied, with a 3.2% decrease in strength observed at 28 days of curing. However, in both cases, the minimum resistance required according to the mix design (350 kg/cm²) was achieved.

Finally, a capillary absorption analysis (ASTM International, 2013) was conducted to evaluate the permeability of the mixtures with additive. The results indicated that the samples without additives showed twice the rate of secondary absorption compared to the samples containing CaCO_3 . The results obtained in the tests of mortars and concretes support the proposal of using CaCO_3 derived from oyster shells as an additive. This material not only improves the strength and permeability of the mixtures but also offers economic benefits, depending on the volume of mix used.

PALABRAS CLAVE:

Resistencia a la compresión, permeabilidad al agua, conchas de ostión pulverizadas.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, se ha buscado mejorar el desempeño de las estructuras y materiales de construcción, con el objetivo de obtener soluciones más ligeras, resistentes, impermeables y de menor costo. El auge de la nanotecnología y el desarrollo de herramientas avanzadas para visualizar las estructuras a nivel nanométrico han impulsado significativamente estos avances. En este contexto, la industria de la construcción ha comenzado a aprovechar estos descubrimientos para optimizar las propiedades de las mezclas existentes, así como el origen de sus materias primas (López & Martínez, 2020).

Además, la sustentabilidad ambiental juega un papel clave, promoviendo el uso de materiales innovadores y procedimientos que contribuyan a mitigar el cambio climático, al tiempo que aumenta el confort en los espacios edificados y reducen el consumo energético. Con este enfoque, se ha incrementado la investigación relacionada con los materiales derivados del cemento, con el fin de optimizar sus propiedades. El concreto, un material compuesto, está formado por una mezcla de un aglomerante (cemento) y compuestos minerales, como la grava (agregado grueso) y la arena (agregado fino), los cuales se mezclan en proporciones adecuadas con agua (Rodríguez y Pérez, 2020).

El cemento, debido a sus características de origen y procesamiento, está compuesto por una variedad de compuestos químicos, principalmente óxidos de calcio (CaO), silicio (SiO_2) y aluminio (Al_2O_3), que pueden estar hidratados o formar compuestos más complejos con agua, e incluso azufre, en caso de contener cenizas volcánicas. La disposición y combinación de estos componentes en el concreto son fundamentales para determinar su resistencia mecánica y otras propiedades. Otro material derivado del cemento es el mortero, que consiste en una mezcla de agua, cemento y, en mayor proporción, arena. Este material se utiliza principalmente en el recubrimiento de paredes y en la unión de ladrillos en la construcción de

muros de carga. Optimizar su desempeño en términos de resistencia y porosidad sería altamente beneficioso para la industria de la construcción (López & Martínez, 2020).

La obtención de materias primas para la producción de concretos y morteros tiene un impacto ambiental considerable, principalmente por las altas emisiones de CO₂ derivadas de la fabricación de cemento Portland (Rodríguez y Pérez, 2020).

Por ellos, se buscan alternativas que contribuyan a reducir la contaminación generada en este proceso. Asimismo, la explotación de bancos de materiales provoca afectaciones ambientales y al paisaje, debido a la constante extracción de arena para la construcción. Por ello, se buscan alternativas que contribuyan a reducir la contaminación generada en este proceso. Asimismo, la explotación de bancos de materiales provoca afectaciones ambientales y al paisaje, debido a la constante extracción de arena para la construcción (López & Martínez, 2020).

En la búsqueda de nuevas rutas sostenibles para los componentes del concreto, se ha identificado el potencial de yacimientos no explotados, como los bancos de conchas de ostión. Estos se encuentran distribuidos en las zonas costeras del país y se estima que contienen alrededor del 90% de las 42 mil toneladas generadas anualmente en México (Liu *et al.* 2022).

Dentro de estos bancos, algunas conchas son seleccionadas por su tamaño para fungir como semilla en el cultivo de poliquetos en granjas de engorda. Sin embargo, la mayoría son desechadas, generando acumulaciones que provocan problemas ambientales. En particular, en el Estado de Tabasco, las granjas de engorda se localizan en los ecosistemas del Carmen-Pajonal-Machona y Mecoacán (de los Santos *et al.*, 2023).

Las conchas descartadas, al no ser eliminadas adecuadamente, pueden almacenar agua en su parte cóncava, convirtiéndose en criaderos de mosquitos transmisores de enfermedades como el dengue, además de emitir malos olores por la descomposición de residuos orgánicos adheridos. Cabe destacar que emplear un material biogénico como aditivo en concretos de alta resistencia puede resultar más económico que el uso de materiales

procesados industrialmente. Además, se fomenta el cultivo de granjas de ostión, promoviendo un reúso sustentable de los residuos, impulsando la repoblación de ecosistemas marinos y contribuyendo a reducir la vulnerabilidad costera. Esto es particularmente relevante en Tabasco, donde el litoral presenta un alto índice de vulnerabilidad (Gama *et al*, 2023).

En este contexto, es fundamental considerar la reutilización de los residuos de *Crassostrea virginica* como un recurso valioso para la industria de la construcción, especialmente cuando estos pueden integrarse a mezclas de concreto que cumplan con las normativas vigentes y mejoren su rendimiento. Por ello, en este trabajo se analizó el efecto de la adición de carbonato de calcio biogénico (procedente de conchas de ostión) sobre las propiedades mecánicas del concreto, en particular su resistencia a la compresión, y se evaluaron también sus características de absorción de agua.

Este tema de investigación resulta especialmente pertinente a nivel local, ya que ha sido explorado debido a la falta de orientación técnica sobre el aprovechamiento de los residuos de concha de ostión (Tovar *et al*. 2023). Por tanto, es necesario desarrollar estudios que proporcionen criterios claros sobre la dosificación de mezclas, con el fin de evaluar el desempeño del concreto modificado en condiciones reales de uso.

En el capítulo I se presentan las definiciones básicas sobre los componentes del concreto, incluyendo su composición química, tipos, normas aplicables y características fisicoquímicas de la concha de ostión. El capítulo II detalla las pruebas experimentales realizadas, desde el método de preparación de las mezclas hasta los ensayos de resistencia a la compresión, utilizando hasta un 15% en masa de polvo de concha molida, en relación con el peso del cemento. También se describen los tamaños de partícula empleados para la concha, arena y grava, según el número de malla correspondiente. Posteriormente, se elaboraron cilindros de concreto con la proporción de aditivo que ofreció mejores resultados en morteros. En el capítulo III se presentan los resultados obtenidos hasta marzo de 2020.

Finalmente, en las conclusiones, se destacan los beneficios del uso de carbonato de calcio biogénico en las mezclas de mortero y concreto.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes.

La industria de la construcción enfrenta el desafío de reducir su impacto ambiental, siendo el concreto uno de los principales responsables debido a las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de cemento. En este contexto, el desarrollo de concretos sostenibles mediante la incorporación de aditivos ecológicos ha ganado relevancia.

En diversas investigaciones se ha explorado el uso de aditivos biológicos y materiales orgánicos en el concreto. Un ejemplo es el estudio de Jittin, Bahurudeen y Ajinkya (2021), donde se empleó cáscara de huevo, demostrando mejoras en las propiedades mecánicas del material. Esta alternativa sostenible no solo contribuye a la reducción de la huella de carbono, sino que también impulsa la economía circular al reutilizar residuos agroindustriales (Jittin, *et al.* 2021).

La adición de nanomateriales en el concreto, como nanopartículas de sílice, también ha mostrado beneficios en términos de resistencia y durabilidad. Además, su aplicación permite una reducción en el contenido de cemento, contribuyendo a menores emisiones de CO₂. En el artículo de Onaizi et al. (2021) los autores realizan un análisis exhaustivo de diversos estudios que exploran cómo los nanomateriales, como las nanopartículas de sílice, carbono y arcilla, mejoran las propiedades mecánicas, térmicas y duraderas del concreto, a la vez que contribuyen a la reducción de su impacto ambiental y proporcionan una visión integral de cómo los nanomateriales pueden contribuir a la sostenibilidad en la industria del concreto, al tiempo que señala los desafíos y oportunidades futuras en su implementación (Onaizi, *et al.* 2021).

Por otro lado, la sustitución parcial del cemento por residuos industriales como cenizas volantes, escoria de alto horno y polvo de cerámica ha sido investigada ampliamente. Estos materiales no solo mejoran las propiedades del concreto, sino que también reducen la demanda de recursos naturales y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de cemento, un ejemplo es el trabajo titulado "Mechanical properties of self-compacting concrete incorporating recycled aggregates and nano-silica." El-Nadoury (2022) donde se analiza el uso de subproductos industriales como sustitutos parciales del cemento en la fabricación de concretos ecológicos. El estudio se centra en materiales residuales como cenizas volantes, escoria de alto horno y sílice de cáscara de arroz, evaluando su viabilidad como reemplazos parciales del cemento Portland tradicional. A través de una revisión detallada de investigaciones previas, el autor destaca cómo estos subproductos pueden mejorar ciertas propiedades del concreto, como la durabilidad y la resistencia mecánica, al mismo tiempo que reducen el impacto ambiental asociado a la producción de cemento (El-nadoury, 2022).

Los avances en tecnologías de concretos inteligentes, como los que incorporan capacidades de autocuración, ofrecen soluciones para mejorar la durabilidad y vida útil de las estructuras. Estos desarrollos no solo optimizan el rendimiento del concreto, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al reducir la necesidad de reparaciones y mantenimiento (Nilimaa, 2023). Hasta el momento se ha demostrado que el uso de aditivos naturales y residuos orgánicos en la fabricación de concretos ecológicos representa una alternativa sostenible frente al concreto tradicional. Estos materiales, como cenizas agrícolas, conchas marinas o aditivos biológicos, permiten no solo reducir el impacto ambiental del cemento sino además reutilizar desechos que, de otro modo, contaminarían el medio ambiente.

En los siguientes estudios se ejemplifica como han utilizado estos residuos orgánicos con este fin. Un estudio publicado en *Environmental Science and Pollution Research* (2024) bajo el título "Utilization of waste olive seed powder as a bio-polymeric admixture" investigó el efecto de un

aditivo biopolimérico derivado de polvo de semilla de oliva en morteros de cemento. Se observó que, a concentraciones de hasta 1.5%, el aditivo mejoró la fluidez, la hidrofobicidad y actuó como retardante de fraguado, sin comprometer significativamente la resistencia mecánica a largo plazo (Mousavi & Khodabakhshi, 2024).

El artículo titulado “Concrete with organic waste materials as aggregate replacement” publicado en *Applied Sciences* (2024) evaluó el reemplazo del 10% de la arena en concreto con materiales orgánicos como ceniza de cáscara de arroz, ceniza de madera, granos de mazorca de maíz y paja de trigo. Se encontró que la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de madera mejoraron las propiedades mecánicas y redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que la paja de trigo y los granos de mazorca de maíz mostraron un rendimiento inferior (Gursel & Kucukvar, 2024).

Un estudio publicado en *Matéria (Rio de Janeiro)* (2024) con el nombre de “A novel approach to improve the adhesiveness of concrete with bio-admixture: A study in concrete” exploró el uso de un aditivo biológico compuesto por almidón de yuca y goma xantana para mejorar la adherencia del concreto. Se observó que la mezcla con 1.5% de aditivo mejoró las propiedades de trabajo y la resistencia mecánica, ofreciendo una alternativa sostenible a los aditivos químicos convencionales (Silva & Oliveira, 2024).

Por último, en el estudio titulado “Utilization of oyster shell as coarse aggregate in concrete. Journal of Applied Research on Science and Technology” se investigó la viabilidad de utilizar conchas de ostión *Crassostrea virginica* como reemplazo parcial del agregado grueso en mezclas de concreto. Los resultados indicaron que la incorporación de conchas trituradas mejoró la resistencia a la compresión, flexión y tracción por división del concreto, especialmente a concentraciones de hasta el 15%. Además, se observó una reducción en el peso del concreto, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones donde el peso es una consideración crítica (Khamput & Klathae, 2022).

El carbonato de calcio (CaCO_3) es un compuesto polimorfo que se presenta en diversas formas cristalinas, siendo la calcita con estructura trigonal y la aragonita con estructura ortorrómbica las más comunes, observables en aglomerados de hasta 200 nm (Evčík & Viani, 2018). Diversos estudios han analizado el CaCO_3 de origen biogénico, identificando que las conchas de ostión son una fuente significativa de este compuesto.

En el presente trabajo, se emplea CaCO_3 biogénico obtenido de conchas de ostión de la especie *Crassostrea virginica*, predominante en el estado de Tabasco, México, que cuenta con 183.86 km de litoral y dos lagunas costeras habitadas por una gran variedad de peces, crustáceos y moluscos (Sanchez & Barba, 2005). La abundante producción de este molusco ha generado una problemática ambiental en la región, ya que los residuos de conchas no son gestionados ni reutilizados adecuadamente. Según la *Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca* (s. f.) en México, en el año 2023, la producción de ostión alcanzó las 20,237.68 toneladas, donde Tabasco ocupa el segundo lugar a nivel nacional con 4,873.66 toneladas, ubicando a la entidad federativa como uno de los principales productores de residuos de concha de ostión.

1.1 Morteros de albañilería.

Los morteros están compuestos por cemento hidráulico, el cual, al combinarse con agua y arena, adquiere la propiedad de fraguar tanto en aire como en agua. Este proceso permite que se forme una masa endurecida que, con el tiempo, desarrolla resistencia mecánica de manera gradual.

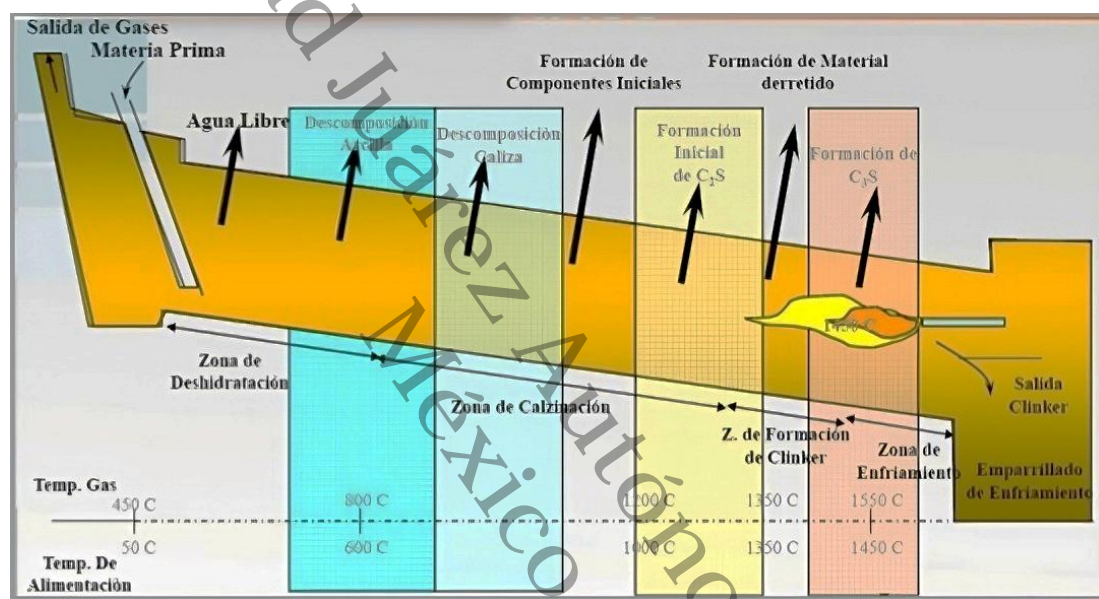
1.1.1 Componentes de mezclas de morteros y concretos

Uno de los cementos más utilizados en construcción es el cemento Portland el cual por definición es un material inorgánico finamente molido que al mezclarse con agua forma una pasta la cual fragua y se endurece por medio de reacciones de hidratación. Después de las cuales, mantiene su resistencia y estabilidad aún bajo el agua. Se fabrica mediante la calcinación de una mezcla de caliza y arcilla a aproximadamente 1450°C (ver Figura 1). La adición de los óxidos de aluminio y hierro obedecen a la necesidad de

reducir las temperaturas de clínquerización. El primer producto se llama clínker y se le agrega entre 3-5% de yeso para controlar el fraguado y la velocidad de ganancia de resistencia mecánica, todos los componentes se granulan finamente para obtener el cemento (Herliati, *et al.* 2021).

Figura 1.

Reacciones en un horno rotatorio (clínker). (Fuente: <https://sites.google.com/site/cemento1hormigon/>).



1.1.1 Composición química del cemento.

La composición del cemento Portland es CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, referidos como los óxidos principales y componen alrededor del 95% del total de la composición. Otros componentes menores son Na₂O, K₂O, MgO, SO₃, etc. (Ultracem 2023).

El Cemento Portland presenta cuatro fases: Alita, Belita, Aluminato tricálcico y Ferrita.

Alita (C₃S o Ca₃SiO₅). Es la fase principal, reacciona con el agua y es la más importante en cuanto al desarrollo de propiedades mecánicas hasta los 28 días.

Belita (C_2S o Ca_2SiO_4). Presente en la forma del polimorfo. Reacciona con el agua y durante los primeros 28 días contribuye poco a la resistencia mecánica, pero lo hace en las etapas posteriores.

Aluminato ($Ca_3Al_2O_6$). Reacciona con el agua y puede causar fraguado rápido, indeseable a menos que se emplee un agente como el yeso.

Ferrita (Ca_2AlFeO_5). Reacciona con velocidad variable, en función de la composición química (Ultracem 2023).

Tabla 1.

Principales Compuestos Químicos del Cemento.

<u>Fórmula Química</u>	<u>Nombre</u>	<u>Cantidad</u>
CaO	Cal	63%
SiO ₂	Sílice	20%
Al ₂ O ₃	Alúmina	7%
Fe ₂ O ₃	Óxido Férrico	3%
MgO	Óxido de Magnesio	1.50%
K ₂ O + Na ₂ O		1%
Pérdida por calcinación	Alcalis	2%
Residuo Insoluble		0.50%
SO ₃	Anhídrido Sulfúrico	2%

Fuente. Comportamiento mecánico del mortero con adición de caucho para muros de albañilería confinada en San Juan de Lurigancho, Lima-2018.

1.1.2 Características fisicoquímicas de la arena.

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena a la materia compuesta de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano de arena. Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava. El componente más común de la arena es la sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo con los recursos y condiciones locales de la roca. Entre sus atributos físicos se encuentran que el volumen de un grano de arena de cuarzo de un diámetro de 0,060 mm (el límite inferior) es $1.13 \times 10^{-13} \text{ m}^3$ con

una masa de 3×10^{-13} g. En el límite superior, el volumen y la masa de un grano de arena con diámetro de 2.10 mm son 4.85×10^{-9} m³ y 1.28×10^{-8} g (Susunaga, *et al.* 2020).

1.1.3 Características fisicoquímicas de la grava.

El agregado grueso consiste en una grava o una combinación de diferentes gravas trituradas cuyos tamaños sean predominantes, mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm. Para que se consideren para el uso en la construcción, estos agregados deben de ser partículas limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos. Las partículas que no cumplan con estas reglas son consideradas indeseables (Coveña, *et al.* 2020).

La forma del agregado grueso influye tanto en la trabajabilidad como en la resistencia a la compresión. La trabajabilidad puede disminuir cuando se utiliza una partícula de forma angulosa en cambio cuando se usa una partícula esférica, esta aumenta, debido a que en las angulosas la fricción entre partículas es mayor que en las esféricas y se necesita más mezcla para recubrir estas partículas. En el estado endurecido del concreto, la grava influye debido a los efectos relacionados con la adherencia mecánica de las partículas, por lo tanto, se obtiene una mayor resistencia cuando se utilizan partículas angulares y no de forma esférica (López, 2019).

1.1.4 Composición química del agua.

El agua es uno de los elementos principales en las mezclas de concreto, por lo tanto, debe de cumplir con ciertos parámetros para su buen desempeño en la mezcla. Esta debe estar ausente de sustancias tóxicas, como sales, aceites, álcalis, materiales orgánicos, entre otros. Debido a que pueden afectar en la resistencia de las mezclas (Acuinde, *et al.* 2019).

1.1.5 Composición de la concha de ostión triturada.

Las conchas de ostión están compuestas en un 95% de Carbonato de Calcio (Matos, *et al.* 2021) en forma de calcita y aragonita (Álvarez, *et al.* 2024). La especie *cassostrea virginica* es la utilizada en este trabajo debido

a que predomina en el estado de Tabasco, siendo un estado colindante al Golfo de México, el que a su vez genera alrededor del 90 % de la producción nacional ostrícola.

1.2 Normas de construcción.

A continuación, se presentan los análisis realizados junto con las normas utilizadas para llevarlos a cabo.

1.2.1 Granulometría.

Proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo. La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (agradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, etc. (Martínez, 2021). Este análisis está basado en la norma *NMX-C-077-ONNCCE-2019* (ONNCCE, 2019).

La granulometría del agregado fino, con ayuda de los límites de las normas establecidas, es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1. Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.
2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. De esta manera, se determina el índice de la finura del agregado, mientras mayor sea el grado, más grueso será el agregado. Este valor es útil para la estimación de las proporciones del agregado fino en la mezcla de concreto. Obteniéndolo, conforme a la norma *ASTM C125-13* (ASTM International, 2013), sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en las mallas anteriormente mencionadas y dividiendo la suma entre 100.

1.2.2 Absorción del agua.

La Norma Mexicana *NMX-C-165-ONNCCE-2004* (ONNCCE, 2004) establece el método de prueba para la determinación de la masa específica aparente y la absorción del agregado fino en la condición de saturado y superficialmente seco. Estos datos se emplean para el cálculo y la dosificación del concreto elaborado con cemento hidráulico. La absorción es el incremento en la masa de un agregado seco cuando es sumergido en agua durante 24 h, a temperatura ambiente. Este aumento de masa tiene lugar debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de la masa seca, y es el índice de la porosidad del material (Gómez, *et al.* 2022).

1.2.3 Masa volumétrica.

Es la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especificado. La norma especificada para este análisis es la *NMX-C-073-ONNCCE-2004* (ONNCCE, 2004) (García-Moreta, Morrillo-García & Guerra-Mera, 2023).

1.3 Fabricación de morteros.

La mezcla de mortero consiste en 1 parte de cemento y 2.75 partes de arena dosificados en masa. Los cementos portland son mezclados con relaciones específicas de agua-cemento. El contenido de agua para otros cementos es el suficiente para obtener una fluencia de 110 ± 5 en 25 golpes de la mesa de ensayo de flujo. Los cubos de ensayo 5 cm (2 pulg) se compactan por apisonamiento en dos capas. Los cubos se curan un día en los moldes y luego se desmoldan y se sumergen en agua de cal hasta ser ensayados según las normas *NMX-C-485-ONNCCE-2014* (ONNCCE, 2014) y *ASTM C109-21* (ASTM International, 2021). Estos morteros son fabricados para llevar a cabo las pruebas de resistencia mecánica.

1.4 Fabricación de concretos.

El concreto es la mezcla de agregados (gruesos y finos) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo, los elementos activos del concreto

son el agua y el cemento de los cuales al combinarse producen una reacción química que después empieza a secarse o fraguar alcanzando un estado de solidez, y los agregados que son la arena y la grava forman el esqueleto de la estructura, ocupando un porcentaje de volumen final del producto. Este material en el área de la construcción es el más utilizado porque posee una gran resistencia a la acción del agua y puede ser moldeable para una gran variedad de formas y tamaños, debido a su trabajabilidad. Sus usos y ventajas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.

Principales usos y ventajas del concreto simple y reforzado (Martínez, 2021).

	Usos	Ventajas
Concreto Simple	Se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, casas e incluso barcos. En la albanilería el concreto es utilizado también en forma de ladrillos o bloques.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a fuerzas de compresión dentro de la norma. • Reúso de un material que ya está formado de manera biogénica. • Larga duración (En condiciones normales, el concreto se fortalece con el paso del tiempo). • Puede moldearse de muchas formas. • Presenta amplia variedad de texturas y colores.
Concreto Reforzado	Al reforzar el concreto con acero en forma de varillas o mallas, es llamado concreto armado o reforzado; el cual se utiliza para dar nombre a sistemas estructurales como: vigas o travesaños, losas, cimientos, columnas, muros de retención, ménsulas, etc. La elaboración de elementos de concreto pre reforzado, que a su vez pueden ser pretensados y potenciados.	<ul style="list-style-type: none"> • Al interactuar concreto y acero, ahora aparte de resistir fuerzas de compresión (absorbidas por el concreto), también es capaz de soportar grandes esfuerzos de tensión que serán tomados por el acero de refuerzo (acero longitudinal). • Al colocar el acero transversalmente a manera de estribos o de forma helicoidal, los elementos (ejemplo, vigas, columnas) podrán aumentar su capacidad de resistencia a fuerzas cortantes y/o torsionales a los que estén sujetos.
Concreto reforzado con nano partículas de óxidos metálicos.	Reforzados con grafenos, nanotubos de carbono, Titania, Zirconia y CaCO ₃ .	Para aplicaciones foto catalítica como aislantes de calor, anticorrosiva y

JUSTIFICACIÓN

En años recientes el crecimiento demográfico y la contaminación ambiental han provocado la necesidad de buscar materiales en la construcción que nos ayuden a economizar y disminuir la huella de carbono. La modernización de carreteras y casas da paso a la necesidad que estas sean cada vez más resistente y durables. Sin embargo, los altos costos del concreto hidráulico hace que la infraestructura de nuestro estado no se encuentre en óptimas condiciones.

Abordar el problema que genera el mal estado de la mayor parte de la estructura vial en Tabasco, así como la infraestructura de muchas viviendas debido a su deformación, es el punto de partida de este estudio. Debido a que se ha demostrado que la concha de ostión contiene carbonato de calcio, el cual aporta grandes beneficios al concreto, como podemos corroborar en la ruinas Mayas ubicadas en la ciudad de Comalcalco, Tabasco donde entre los años 700 y 900 a. C. los Mayas las adicionaron como una pasta cocida y triturada a los ladrillos que formarían esta construcción y que hasta la fecha siguen en pie, nos comprueba que el uso de Carbonato de Calcio, puede mejorar no solo la resistencia mecánica del concreto sino también su durabilidad y al mismo tiempo disminuir su costo, pues usar un aditivo biogénico a la mezcla de concreto es mucho más económico que los ya existentes.

El estado de Tabasco es uno de los mayores productores de concha de ostión en el golfo de México ocupando el segundo lugar a nivel nacional, con 4,873.66 toneladas (2023), razón por la que se genera una gran cantidad de desechos de este molusco diariamente. Hasta la fecha la

contaminación provocada por *Crassostrea virginica* debido a la dificultad de almacenar los desechos que esta provoca, ha generado la propagación de plagas y malos olores en las calles.

Utilizar CaCO_3 biogénico (conchas de ostión), abordará ambos problemas presentes en el estado de Tabasco, el deterioro excesivo de la infraestructura y la contaminación ambiental.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta en las mezclas de mortero y concreto la adición de CaCO_3 biogénico, obtenido de las conchas de ostión?

HIPÓTESIS

La adición de CaCO_3 de origen biogénico mejora la resistencia de las mezclas de mortero y concreto, así como también disminuye su permeabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de carbonato de calcio biogénico (CaCO_3) en las propiedades mecánicas de mezclas de concreto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar las proporciones óptimas de las mezclas de concreto que garanticen una adecuada fluidez para su aplicación en pavimentos.

- Evaluar la resistencia a la compresión de mezclas de concreto modificadas con carbonato de calcio (CaCO_3).
- Analizar la absorción capilar de agua en mezclas de concreto incorporadas con carbonato de calcio (CaCO_3).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación, desarrollado en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la adición de carbonato de calcio biogénico (CaCO_3), obtenido a partir de conchas de ostión (*Crassostrea virginica*), en las propiedades mecánicas y físicas de mezclas de concreto hidráulico. Esta investigación se encargó de buscar alternativas sostenibles para el aprovechamiento de residuos marinos generados en el estado de Tabasco, una de las regiones con mayor producción de ostión en México, donde la acumulación de conchas representa un problema ambiental y sanitario significativo.

Para el desarrollo de este trabajo, se elaboraron inicialmente morteros de cemento Portland gris, arena y agua con aditivos de CaCO_3 biogénico (polvos de concha de ostión) en porcentajes desde 5 % hasta 15 % con respecto al cemento. Posteriormente se realizaron cilindros de concreto con el porcentaje que alcanzó una mejor resistencia a la compresión en los morteros y finalmente se caracterizaron tanto las materias primas como las mezclas de morteros para comprobar la fijación del carbonato de calcio en las mezclas, así como la cantidad de agua y de esta forma hacer un análisis comparativo relacionando los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con la mineralogía encontrada en las pastas de cemento. Estos procedimientos fueron evaluados a edades de 7, 14 y 28 días de curado para hacer un seguimiento al comportamiento en la hidratación de las mezclas.

2.1 Materiales.

Los materiales utilizados para la elaboración de morteros fueron arena, cemento Portland (Anáhuac gris CPC30R) agua y adicionalmente carbonato de calcio (CaCO_3) obtenido de concha de ostión (*Crassostrea virginica*). La arena se obtuvo del banco Samaria 2 ubicado en Cunduacán, Tabasco, México. Las conchas se recolectaron del municipio de Paraíso, Tabasco, México. Se seleccionaron conchas de entre 7 y 10 cm de longitud, se lavaron con agua y jabón, se secaron y se trituraron de forma manual.

2.2 Métodos.

2.2.1 Pruebas realizadas a los materiales.

Las pruebas de caracterización de los materiales se llevaron a cabo de acuerdo con las normas mexicanas NMX-ONNCCE (Tabla 3), con el fin de garantizar la calidad de éstos.

Tabla 3.

Pruebas de calidad de agregados finos.

<u>Pruebas</u>	<u>Normas para agregados (arena y polvos de concha de ostión).</u>
Absorción y densidad relativa de finos.	NMX-C-165-ONNCCE-2019.
Peso volumétrico suelto y compacto de finos.	NMX-C-073- ONNCCE-2004.
Granulometría de finos.	NMX-C-077-ONNCCE-2018.

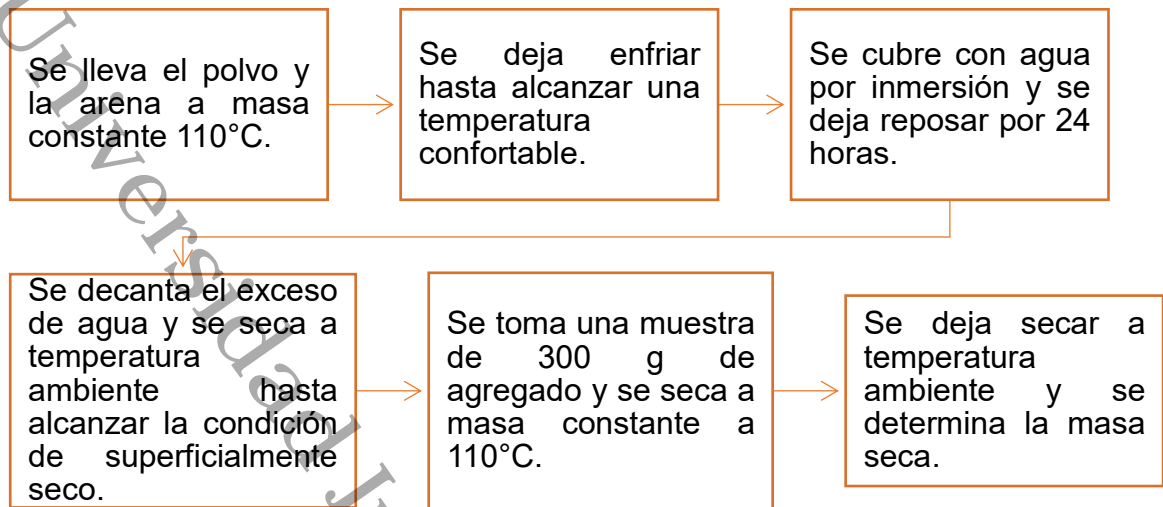
Fuente: *Elaboración propia*

Las pruebas realizadas, se ilustran en los diagramas esquemáticos de las Figuras 2, 3 y 4.

2.2.1.1 Prueba de absorción de agua.

Figura 2.

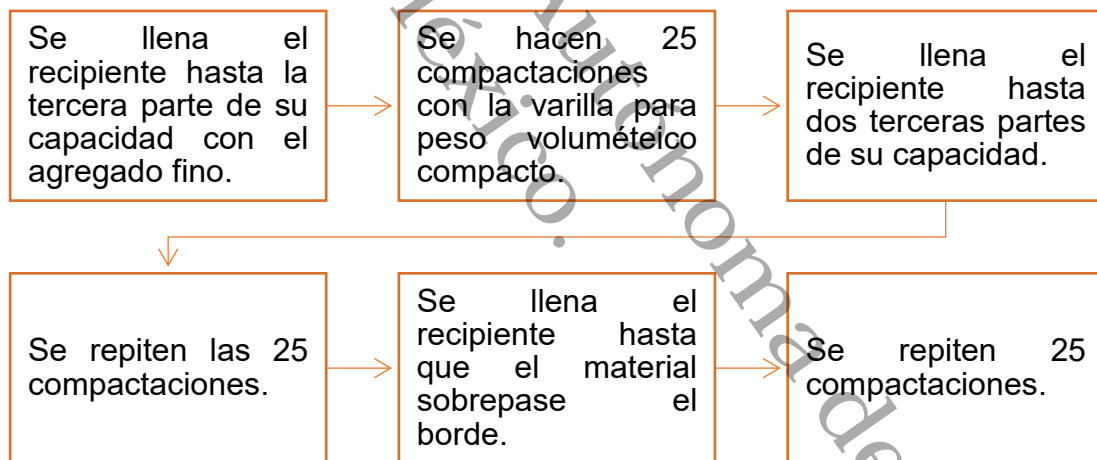
Procedimiento para el análisis de absorción de agua en agregados.



2.2.1.2 Peso volumétrico suelto y compacto.

Figura 3.

Procedimiento para el análisis de peso volumétrico compacto.

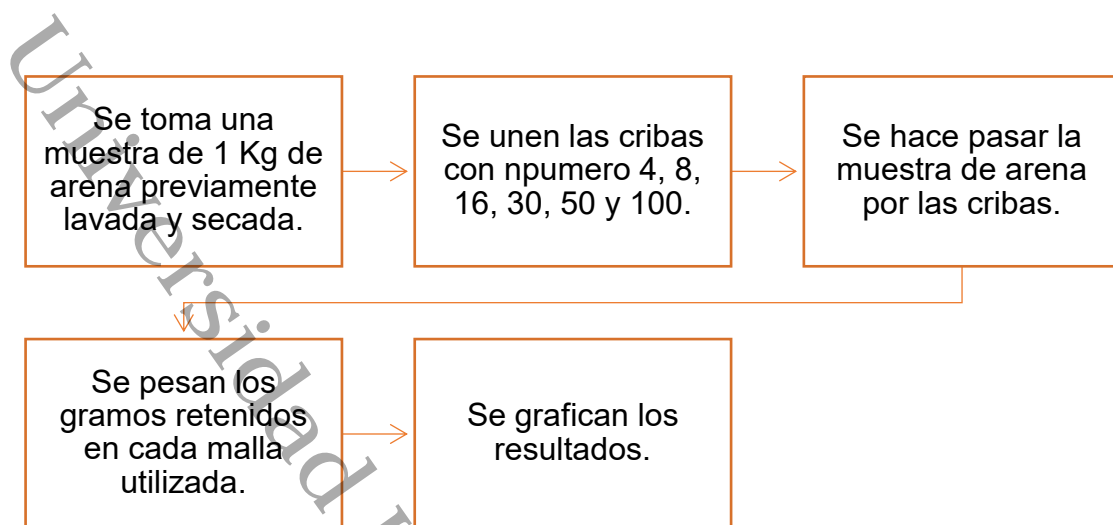


Para el peso volumétrico suelto, solo es necesario llenar el recipiente sin ningún tipo de compactación y registrar el peso que ocupa por volumen.

2.2.1.3 Granulometría.

Figura 4.

Procedimiento para el análisis de granulometría en agregados finos.



2.2.2 Dosificación de mezcla y fabricación de especímenes.

Se fabricaron especímenes cúbicos de 5 cm de arista, con proporciones de mezclado de 5 % a 15 % de CaCO_3 como aditivo, siguiendo la norma *NMX-C-486-ONNCCE-2014* (ONNCCE, 2014). Los seis morteros se obtuvieron mezclando 500 g de cemento, 1375 g arena y las cantidades de aditivo de CaCO_3 mostradas en la Tabla 4. La cantidad de agua adicionada se determinó mediante la prueba de fluidez bajo la norma *NMX-C-061-ONNCCE* (ONNCCE, s.f.).

Tabla 4.

Dosificación de morteros de 5 cm³.

Porcentaje de concha de ostión con respecto al cemento (% masa).	Arena (gramos)	Cemento (gramos)	Agua (mililitros)
0	1375	500	294.25
5	1375	500	295.0325
6	1375	500	295.189
7	1375	500	295.34
8	1375	500	295.502
9	1375	500	295.65
10	1375	500	295.315

11	1375	500	295.97
12	1375	500	296.128
13	1375	500	295.2612
14	1375	500	295.345
15	1375	500	296.6

Fuente. Elaboración propia

Los moldes llenos se secaron durante 24 horas, se desmoldaron y se sometieron al proceso de curado durante 7, 14 y 28 días. La prueba de compresión se llevó a cabo en la máquina de ensayos universales para aplicaciones estáticas del laboratorio de suelos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, con número de identificación D-0000752, modelo A. Para esta prueba se sacaron los cubos del agua y se dejaron secar unas horas a temperatura ambiente.

2.2.3 Dosificación de mezcla y fabricación de cilindros de concreto.

La dosificación y fabricación de cilindros de concreto hidráulico adicionados con CaCO_3 biogénico se llevó a cabo para comprobar la resistencia final del concreto hidráulico adicionado con el polvo de concha de ostión. La dosificación (Tabla 5) se obtuvo siguiendo el diseño de mezclas de concreto del ACI. Se delimitó un tamaño de grano, para la arena menor de 4.76mm y para la grava entre 19 y 12.5 mm. La fabricación de los cilindros se realizó conforme a la norma *NMX-C-159-ONNCCE-2004* (ONNCCE, 2004). De acuerdo con el diseño experimental se realizan ensayos de resistencia a compresión con dos repeticiones para cada ensayo.

Tabla 5.

Dosificación de especímenes cilíndricos.

Porcentaje de concha de ostión con respecto al cemento.	Arena (Kg)	Cemento (Kg)	Concha (Kg)	Agua (L)	Grava (Kg)
0%	27.74	18.51	0	8.148	39.3
11%	27.74	18.51	1.148	8.6	39.3

Fuente. Elaboración propia

2.2.4 Prueba de Absorción capilar en morteros cúbicos adicionados con CaCO₃ de origen biogénico.

La prueba de absorción se llevó a cabo con el fin de encontrar la permeabilidad de los morteros. Se realizó siguiendo la norma ASTM C1585-13 (ASTM International, 2013) de la American Society of Testing Materias (ASTM). Se tomaron dos cubos de 5 cm³ y después de haber removido su capa externa utilizando una lija de grado 120 y se sumergió en agua por 7 días registrando la diferencia de peso a distintos intervalos de tiempo.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados encontrados en los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y caracterización de las mezclas de morteros y concreto.

3.1 Análisis de agregados finos y gruesos.

En la Tabla 6, se enlistan los resultados obtenidos en los análisis de absorción al agua, densidad relativa, peso volumétrico suelto (PVS) y peso volumétrico compacto (PVC).

La absorción de agua se determinó empleando la fórmula:

- Ecuación 1. Absorción de agua.

$$1. \% \text{ Absorción de agua} = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde, M_{ss} es la Masa superficialmente seca y M_s es la Masa seca en gramos.

La densidad relativa se obtuvo de la fórmula:

- Ecuación 2. Densidad relativa

$$2. SSS = \frac{M_{ss}}{A + M_{ss} - B}$$

Donde, SSS es el valor de la Densidad relativa (Gravedad específica); M_{ss} es la Masa de la muestra ensayo, en condición de superficialmente seca en

g; A es la Masa del picnómetro con agua y B es la Masa del picnómetro con agua y muestra.

El peso volumétrico suelto y compacto se calculó con la fórmula:

- Ecuación 3. Peso volumétrico suelto y compacto.

$$3. PVS \text{ ó } PVC = W1 - Wv$$

Donde, PVS es el Peso volumétrico suelto; PVC es el Peso volumétrico compacto; W1 es la Masa del recipiente lleno con agregado y Wv es la Masa del recipiente vacío.

Tabla 6.

Análisis de agregados de mezclas de concreto.

<u>Análisis</u>	<u>Grava</u>	<u>Arena</u>	<u>Concha</u>
% Absorción	1.99	1.4	3.13
Densidad relativa	2.664	2.60	2.4
Peso volumétrico suelto	492.06kg/m ³	195.81kg/m ³	X
Peso volumétrico compacto	509.9kg/m ³	222.64kg/m ³	X

Fuente. Elaboración propia

3.2 Granulometría arena.

En la Tabla 7, se presentan los datos de granulometría obtenidos para la arena utilizada en este proyecto.

Muestreo Arena: Banco Samaria 2

Ubicación: Cucuyulapa, Tabasco. 17°59'31.2" N 93°16'54.3"W.

Tipo de extracción: Draga marina

Tamaño de muestra analizada: 500 g

Fecha de muestreo: 01 agosto 2019

Tabla 7.

Análisis granulométrico de arena del Banco Samaria 2

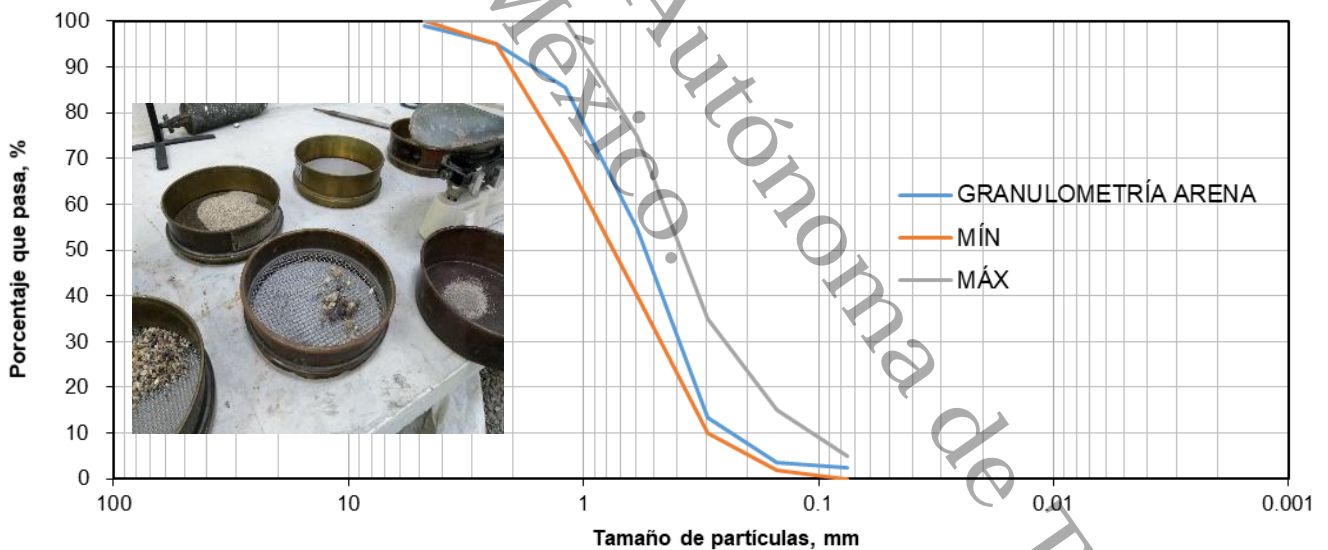
X	Y	NMXC-485 Y ASTM C-144
---	---	-----------------------

<u>Tamaño de partículas (mm)</u>	<u>% Que pasa</u>	<u>Min.</u>	<u>Máx.</u>
4.75	98.98	100	100
2.34	94.98	95	100
1.19	85.40	70	100
0.595	54.80	40	75
0.297	13.32	10	35
0.15	3.60	2	15
0.075	2.36	0	5

Fuente. Elaboración propia

Figura 5.

Gráfica comparativa de máximos y mínimos en el análisis granulométrico de la arena.



En la Figura 5, con el comportamiento de los valores obtenidos, se comprobó que la arena utilizada se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos permisibles según las normas **MMX-C-485-ONNCCE-2014 (ONNCCE, 2014) Y ASTM C144 (ASTM International, 2004)** por lo cual se utilizó sin cribar en las mezclas de morteros y de concreto. Este resultado, es

importante para descartar un paso más en el proceso de elaboración de las mezclas y por ende disminuir costos de producción.

3.3 Granulometría grava.

La grava utilizada fue de tipo angular, extraída de río, parcialmente húmeda. Su obtención se llevó a cabo el 15 de octubre del 2019. Se recolectaron aproximadamente 0.16 m³. El tamaño de muestra analizado es de 1 kg. En la Tabla 8 se enlistan los datos de granulometría de la grava utilizada y en la Figura 6, se puede observar que la grava no cumplía con los límites permisibles de las normas, por lo cual se seleccionó solo la grava que cumplía con un tamaño de $\frac{3}{4}$ (19.1 mm).

Tabla 8.

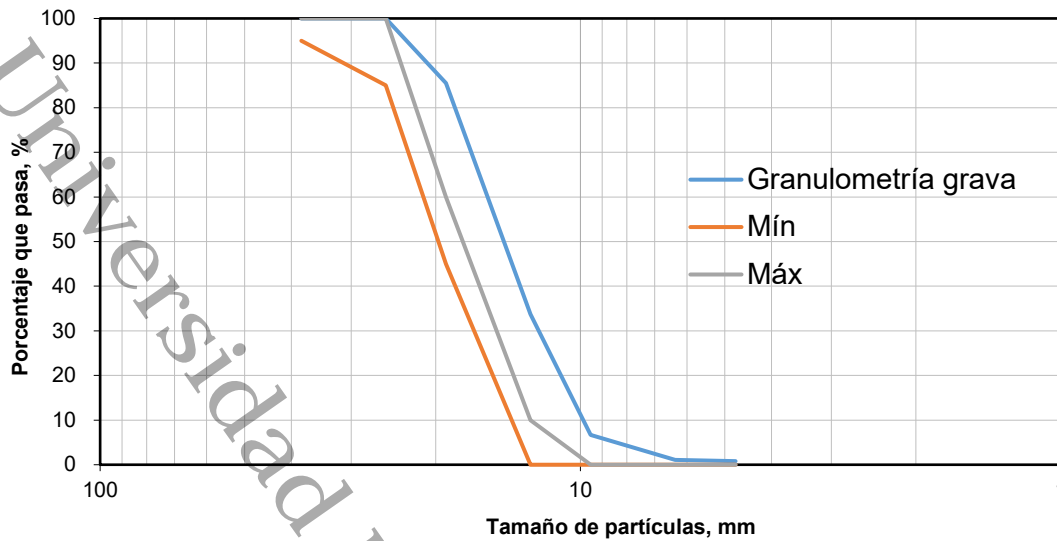
Análisis granulométrico de grava de río.

<u>Tamaño de partículas en mm</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>NMXC-485 Y ASTM C-144</u>	
			<u>Min.</u>	<u>Máx.</u>
		<u>% Que</u>		
		<u>pasa</u>		
38.1		100.00	95	100
25.4		100.00	85	100
19.1		85.50	45	60
12.7		33.70	0	10
9.5		6.70	0	0
6.4		1.10	0	0
4.75		0.80	0	0

Fuente. Elaboración propia

Figura 6.

Gráfica comparativa de máximos y mínimos en el análisis granulométrico de la grava.



3.4 Efecto de la adición de CaCO_3 de origen biogénico en especímenes cúbicos de 5 cm.

Se fabricaron 6 morteros con cemento, arena y con una proporción de agua del 52.5 %, cuya mezcla alcanzó una fluidez del 80 %. La resistencia se calculó en base a la norma *NMX-C-083-ONNCCE-2014 (ONNCCE, 2014)*, los resultados obtenidos a los 7 días fueron de 3 toneladas y a los 14 días de 4.575 toneladas. Otros 6 morteros fueron elaborados con cemento, arena y un porcentaje de agua del 55%, estos alcanzaron una fluidez de 100. La resistencia a los 7 días fue de 4.02 toneladas, a los 14 días fue de 6.06 toneladas.

Basados en estos resultados se fabricaron otros 18 morteros (Figura 7) con cemento, arena, se mantuvo la proporción de agua del 55 % debido a que eran más resistentes y se agregaron proporciones de polvo de concha del 5 al 15 %. Para este análisis según la norma, se necesitan 6 especímenes por cada proporción deseada debido a que a los 7, 14 y 28 días se debe realizar la prueba de resistencia mecánica en mínimo 2 cubos por análisis. Todos los especímenes de las probetas se mantuvieron rígidos sin desmoronamientos, por lo que los cálculos del diseño empleados para su fabricación al momento de plantear la hipótesis fueron los correctos. La

Figura 8 muestra los valores graficados del peso y la medida de los especímenes cúbicos de 5 cm³ con respecto al porcentaje de polvo de concha de ostión, en la cual se encontraron pequeñas variaciones entre estos, lo que indica que en la fabricación no se tuvo grandes márgenes de error.

Figura 7.

Especímenes cúbicos de 5 cm³ fabricados con cemento Portland ordinario (CPO), arena, agua y polvos de concha de ostión.



En la Tabla 9, se enlistan las cantidades de la dosificación de agua (mL), polvo de concha de ostión, cemento y arena en gramos que se utilizó para las mezclas de mortero. En la Figura 9 se encuentran las resistencias alcanzadas de cada uno de los especímenes a los 7, 14 y 28 días de curado, en esta gráfica se observa que con un porcentaje de 8% de polvo de concha con respecto al cemento, se alcanzó la mayor resistencia en kg/cm² y que con un porcentaje de 14% se tiene la menor resistencia debido a que llega un punto en el que la adición de CaCO₃ biogénico interviene provocando un descenso en esta.

Los cubos 1 y 2 especificados en la Tabla 9, se fabricaron sin polvo de concha de ostión para encontrar la mejor proporción de agua en las mezclas como se mencionó anteriormente. La mezcla con mejores resultados fue el Cubo 2, por lo tanto, el cálculo de cantidad de agua se basó en este espécimen, para la posterior comparación entre morteros sin y con polvo de concha de ostión.

Figura 8.

Gráfica de peso y medida promedio de especímenes cúbicos de 5 cm³.

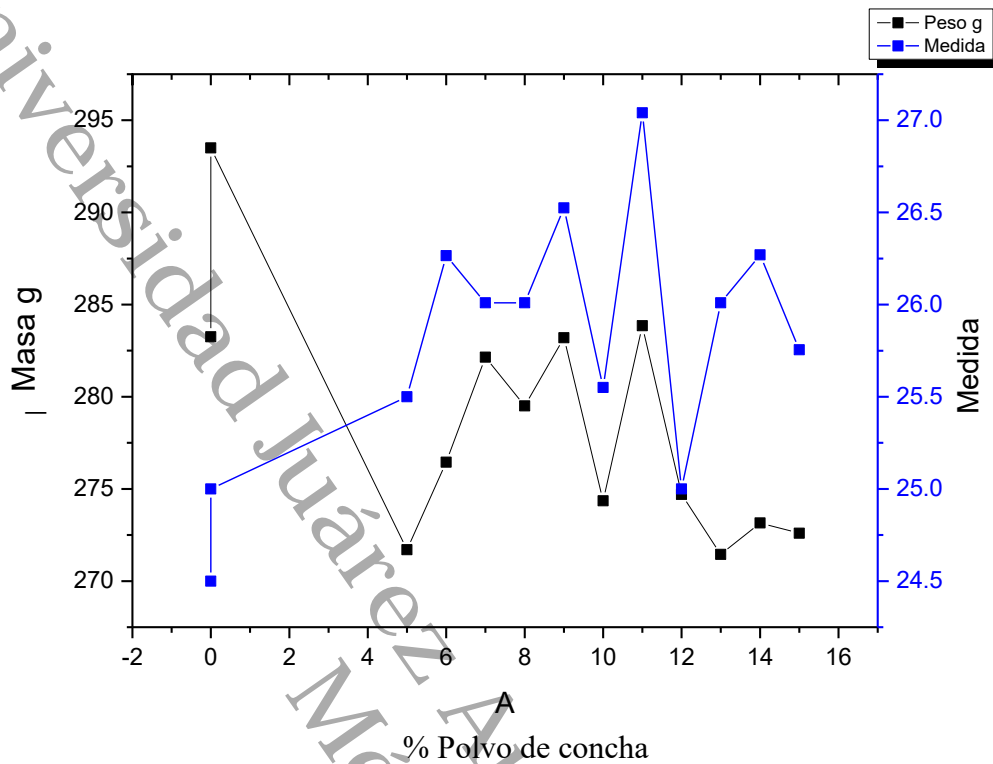
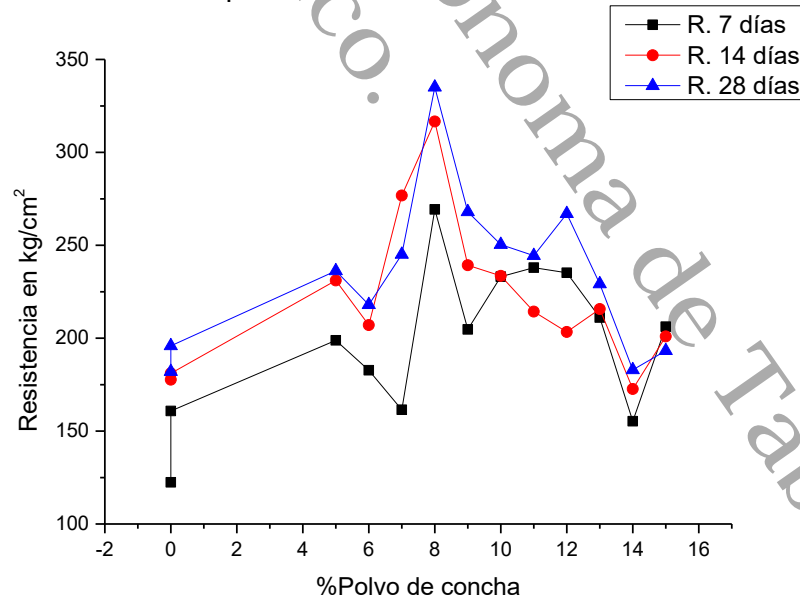


Figura 9.

Gráfica de resistencia a la compresión de morteros cúbicos de 5 cm³.



Como se observa en la Figura 9, la resistencia a los 7 y 14 días es menor que la alcanzada a los 28 días debido a que la resistencia mecánica máxima que el concreto puede alcanzar ocurre a los 28 días de curado.

Tabla 9.*Clave y dosificación de especímenes cúbicos.*

<u>Clave</u>	<u>% polvo de concha</u>	<u>Agua (ml)</u>	<u>Polvo de concha (g)</u>	<u>Cemento (g)</u>	<u>Arena (g)</u>
1	0	284	0	500	1375
2	0	294.25	0	500	1375
A	5	295.04	25	500	1375
L	6	295.19	30	500	1375
K	7	295.34	35	500	1375
J	8	295.50	40	500	1375
I	9	295.65	45	500	1375
B	10	295.32	50	500	1375
G	11	295.97	55	500	1375
H	12	296.13	60	500	1375
M	13	295.26	32.5	500	1375
N	14	295.35	35	500	1375
C	15	296.60	75	500	1375

3.5 Efecto de la adición de CaCO_3 en las propiedades mecánicas de la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto hidráulico.

La fabricación de los cilindros (Figura 10, 11 y 12) se realizó conforme a la norma *NMX-C-159-ONNCCE-2004* (ONNCCE, 2004). La dosificación (Tabla 10), se obtuvo siguiendo el diseño de mezclas de concreto del ACI. Se delimitó un tamaño de grano, para la arena menor de 4.76 mm y para la grava entre 19 y 12.5 mm. La evaluación a la resistencia a la compresión se llevó a cabo en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura para comprobar la resistencia final del concreto hidráulico adicionado con el polvo de concha de ostión. Se fabricaron 12 probetas (tal y como se enlistó en el apartado del Desarrollo experimental), las cuales fueron diseñadas para resistir una carga máxima de 350 kg/cm^2 . Todas se ensayaron conforme a la norma *NMX-C-083-ONNCCE-2014* (ONNCCE, 2014), por lo que las probetas a los 7 días de curado deberían cumplir con al menos un 65% de su resistencia de diseño (227.5 kg/cm^2). Después se

realizó el análisis de las probetas a los 14 días, los cuales debían alcanzar el 80% de la resistencia de diseño de (280 kg/cm²). En este caso, se aumenta el porcentaje porque se espera que el desarrollo del concreto aumente después de los días de curado. Por último, se realizó el análisis de las probetas a los 28 días, las cuales tenían que cumplir con el 100% de la resistencia de diseño con la que fueron elaboradas (350 kg/cm²), obteniendo los resultados que se enlistan en la Tabla 10, junto con las características de cada una de las probetas.

Figura 10.

Fraguado de cilindros de concreto hidráulico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11.

Curado de cilindros de concreto hidráulico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 12.

Prueba de compresión en cilindros de concreto hidráulico. Fuente: Elaboración propia.



<u>Clave</u>	<u>Aqua (L)</u>	<u>Polvo De Concha (kg)</u>	<u>Cemento (kg)</u>	<u>Grava (kg)</u>	<u>Arena (kg)</u>
A	8.148	0	18.51	39.3	27.24
A	8.148	0	18.51	39.3	27.24
B	8.6	1.48	18.51	39.3	27.24
B	8.6	1.48	18.51	39.3	27.24

Tabla 10.
Clave y dosificación de cilindros de concreto

Fuente. Elaboración propia

La clave B corresponde a los cilindros adicionados con polvo de concha de ostión y la clave A, los cilindros que se emplearon como blanco, para realizar la comparación entre cilindros comerciales y los adicionados con CaCO_3 .

Tabla 11.

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

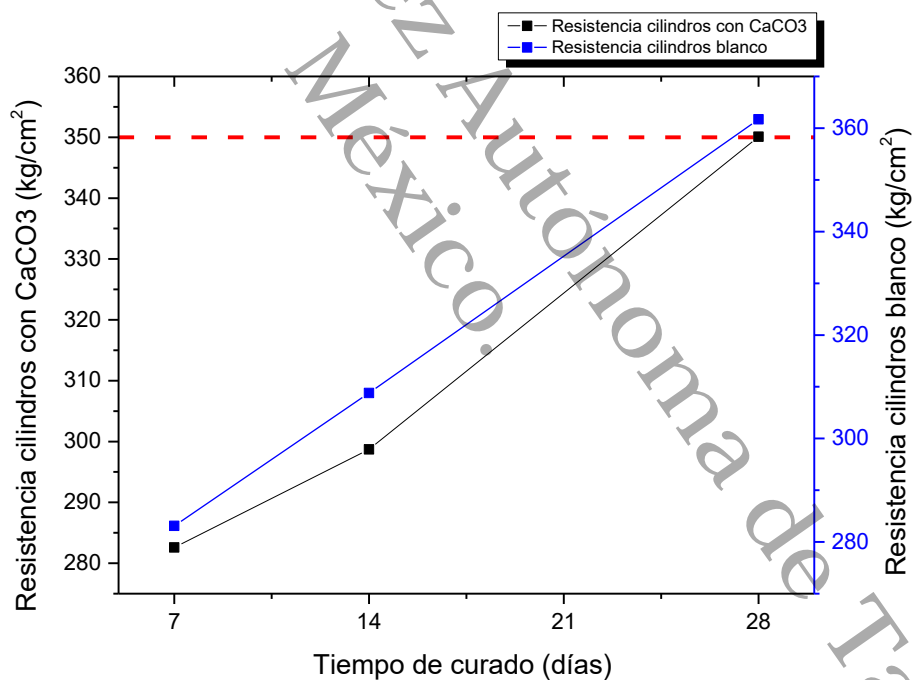
<u>Tiempo de curado (d)</u>	<u>Resistencia kg/cm^2</u>	<u>% CaCO_3</u>
7	283.1	0
	282.6	8
14	308.8	0
	298.7	8
28	361.7	0
	350.1	8

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 11, se aprecia que los cilindros elaborados con concreto y CaCO_3 obtenido de las conchas de ostión, tuvieron una menor resistencia a la compresión en un 0.17 % al día 7, 3.27 % a los 14 días y un 3.2 % a los 28 días. Sin embargo, ambos cilindros cumplieron con la resistencia propuesta en el diseño de mezcla, la cual fue de 350 kg/cm^2 . Con los resultados obtenidos en el análisis de las probetas conforme a los días y el porcentaje agregado del CaCO_3 (Figura 13), se obtuvo que la resistencia a la compresión de cada probeta no disminuyó con respecto a la carga máxima de diseño en relación con el aumento de porcentaje agregado del CaCO_3 .

Figura 13.

Gráfica comparativa de resistencia mecánica de cilindros de concreto adicionados y no adicionados con CaCO_3 .



3.6 Análisis de absorción capilar de concreto adicionado con CaCO_3 de origen biogénico.

Para este análisis se seleccionaron dos morteros de 5cm^3 lo cual cumplía con el espesor propuesto por la norma *ASTM C1585-13* (ASTM

International, 2013). La absorción (I) está dada en mm y se calcula dividiendo la masa (g) entre el área transversal del espécimen de prueba (mm^2) y la densidad del agua (g/mm^3).

Ecuación 4. Absorción capilar de concreto.

$$4. I = \frac{m}{(a*d)}$$

Donde I es la Absorción (mm), m es el cambio de la masa del espécimen en gramos con respecto del tiempo (g). y d es la Densidad del agua (g/mm^3).

En la Tabla 12 y 13, se muestran los valores promedios obtenidos de absorción capilar con el tiempo para los morteros adicionados y no adicionados con CaCO_3 respectivamente. Para cada muestra se determinó la absorción capilar y la velocidad de absorción.

Tabla 12. Resultados de absorción capilar en morteros con CaCO_3 .

Mortero CaCO_3					
Días	Segundos	S^{1/2}	Masa (g)	Δ Masa	Absorción (mm)
0		0	261.338	0	0.000000
60		8	261.953	0.615	0.000246
300		17	262.657	1.319	0.000527
600		24	262.913	1.575	0.000629
1200		35	263.377	2.039	0.000814
1800		42	263.71	2.372	0.000947
2400		49	263.996	2.658	0.001061
3000		55	264.235	2.897	0.001156
3600		60	264.458	3.12	0.001246
7200		85	265.411	4.073	0.001626
10800		104	266.063	4.725	0.001886
14400		120	266.435	5.097	0.002035
18000		134	266.823	5.485	0.002190

	21600	147	267.114	5.776	0.002306
Día 1	92220	304	267.637	6.299	0.002515
Día 2	193200	440	267.981	6.643	0.002652
Día 3	268500	518	268.224	6.886	0.002749
Día 4	432000	657	268.476	7.138	0.002850
Día 5	527580	726	268.721	7.383	0.002947
Día 6	622200	789	268.922	7.584	0.003028
Día 7	691200	831	269.112	7.774	0.003103

Fuente. Elaboración propia

Tabla 13.

Resultados de absorción capilar en morteros sin aditivo.

Mortero CaCO₃					
Días	Segundos	S^{1/2}	Masa (g)	Δ Masa	Absorción (mm)
	0	0	275.229	0	0.000000
	60	8	275.895	0.666	0.000264
	300	17	276.635	1.406	0.000558
	600	24	277.349	2.12	0.000841
	1200	35	277.912	2.683	0.001065
	1800	42	278.646	3.417	0.001356
	2400	49	279.002	3.773	0.001497
	3000	55	279.768	4.539	0.001801
	3600	60	280.632	5.403	0.002144
	7200	85	281.021	5.792	0.002298
	10800	104	281.884	6.655	0.002641
	14400	120	282.491	7.262	0.002882
	18000	134	282.767	7.538	0.002991
	21600	147	283.119	7.89	0.003131
Día 1	92220	304	283.957	8.728	0.003463
Día 2	193200	440	284.459	9.23	0.003663
Día 3	268500	518	284.74	9.511	0.003774

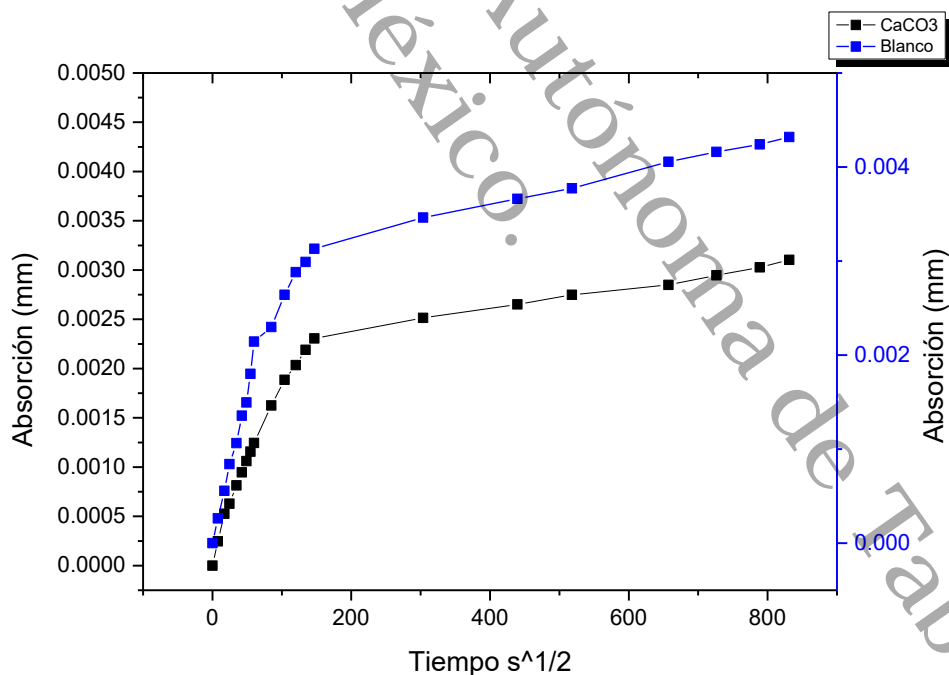
Día 4	432000	657	285.451	10.222	0.004056
Día 5	527580	726	285.717	10.488	0.004162
Día 6	622200	789	285.916	10.687	0.004241
Día 7	691200	831	286.112	10.883	0.004319

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 14, se muestran como ejemplo las dos curvas obtenidas para los diseños de mezcla con adición y sin adición de CaCO_3 sobre la absorción capilar con relación a la raíz cuadrada del tiempo. La absorción capilar es ligeramente mayor en los morteros que no tienen adición de CaCO_3 , lo cual confirma que la adición de polvos de concha de ostión a las mezclas de concreto le proporciona impermeabilidad al concreto.

Figura 14.

Gráfico comparativo de la constante de absorción de agua de las muestras de concreto con adición y sin adición de CaCO_3 en función del tiempo.



En las primeras 6 horas de la prueba se obtuvo la velocidad de absorción inicial y secundaria como lo dicta la norma *ASTM C1585-13* (ASTM International, 2013), esta se estimó como la pendiente de una recta

entre el origen y el punto crítico de saturación en la gráfica definida por la ecuación 5. La inicial se calcula con los datos obtenidos hasta las primeras 6 horas del experimento, y la secundaria a partir de las 6 horas hasta el punto crítico donde el cambio de masa de la probeta disminuye gradualmente.

Ecuación 5. Velocidad de absorción capilar.

$$5. S = \frac{Qt - Q_0}{\rho A} v s \sqrt{t}$$

Donde, S es la velocidad de absorción capilar ($\text{mm/s}^{1/2}$), Qt es la masa de la probeta en el tiempo t. (g), Q₀ es la masa de la probeta al inicio. (g), ρ: es la densidad del agua (g/mm^3) y A es el área de succión de la probeta (mm^2)

Tabla 14.

Resultados del ensayo de absorción capilar.

Adición de CaCO ₃ biogénico (%)	Velocidad de absorción capilar S ($\text{mm/s}^{1/2}$)
0%	I: 2×10^{-5}
	S: 2×10^{-6}
8%	I: 2×10^{-6}
	S: 1×10^{-6}

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 14 se evidencia una ligera disminución en la velocidad de absorción capilar secundaria, podemos observar que la velocidad de absorción al inicio de la prueba se mantiene constante en ambas mezclas, sin embargo, en la secundaria hay una disminución del 50% en los morteros adicionados con 8% de CaCO₃ de origen biogénico. Cabe destacar que diversos autores encuentran velocidades de absorción entre 9×10^{-6} y 0.315 ($\text{mm/s}^{1/2}$) en varios tipos de morteros por lo cual los resultados están dentro del rango para ser considerado concreto hidráulico (Cañola & Echavarría, 2017).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para cumplir con los objetivos propuestos, se elaboraron y analizaron experimentalmente morteros cúbicos de 5 cm³ y probetas cilíndricas de concreto fabricadas con cemento Portland, arena, grava y agua, incorporando distintos porcentajes de CaCO₃ biogénico (5 %, 8 %, 10 % y 15 % respecto al peso del cemento). Se realizaron ensayos normalizados de resistencia a la compresión y de absorción capilar, conforme a las normas NMX-C-083-ONNCCE-2014 y ASTM C1585-13, complementados con un análisis comparativo para determinar la proporción óptima del aditivo.

Los resultados obtenidos evidencian que la adición de CaCO₃ biogénico incide positivamente en las propiedades del concreto, siempre que se utilicen proporciones adecuadas. En el caso de los morteros, la proporción del 8 % se identificó como la más eficiente, generando un incremento del 41.53 % en la resistencia a la compresión respecto a la muestra control, lo que demuestra una mejora en la cohesión interna y la densificación de la matriz cementante. Además, las pruebas de absorción capilar revelaron que las mezclas con CaCO₃ biogénico presentan una reducción del 50 % en la velocidad de absorción secundaria, lo cual indica una menor permeabilidad y, por ende, una mayor durabilidad frente a la penetración de agentes externos.

En las probetas cilíndricas de concreto, aunque se observó una ligera disminución del 3.2 % en la resistencia a la compresión a los 28 días de

curado en comparación con el concreto convencional, todas las muestras cumplieron con la resistencia mínima de diseño (350 kg/cm^2). Esta diferencia no representa una limitante estructural significativa y se compensa con las ventajas volumétricas y económicas derivadas del uso del aditivo biogénico, el cual incrementa el volumen total de la mezcla y reduce el consumo de cemento, sin comprometer la calidad del material.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el carbonato de calcio biogénico actúa eficazmente como un micro relleno dentro de la matriz cementante, mejorando la densidad, reduciendo la porosidad y favoreciendo el comportamiento mecánico del concreto. Estas características sugieren su potencial aplicación en pavimentos, prefabricados y elementos estructurales donde se requiera buena resistencia, durabilidad y control de permeabilidad.

En recomendaciones y perspectivas de este trabajo, se añade que en desde el punto de vista económico, el empleo del CaCO_3 biogénico representa una alternativa viable frente a los aditivos comerciales. Mientras que los aditivos sintéticos comúnmente empleados requieren una dosificación cercana al 1 % del peso del cemento (aproximadamente 500 g) con un costo promedio de 300 MXN por 5 kg, el uso del CaCO_3 biogénico permite incorporar hasta un 8 % del material a un costo significativamente menor. Esto se traduce en una reducción directa de costos de producción, al tiempo que se aprovecha un desecho abundante y de bajo costo que actualmente representa un problema ambiental para las zonas costeras del estado.

En términos ambientales y sociales, la incorporación de conchas de ostión molidas en la producción de concreto promueve la valorización de residuos y contribuye a la implementación de prácticas de economía circular. Este proceso no solo disminuye el impacto ambiental asociado al desecho marino, sino que también reduce las emisiones de CO_2 derivadas de la fabricación de cemento Portland, al sustituir parcialmente su volumen con un material natural, reciclado y de origen local. Con ello, se refuerza el

compromiso con el desarrollo sustentable y la innovación tecnológica aplicada al sector de la construcción.

Sin embargo, el estudio reconoce algunas limitaciones derivadas de su enfoque experimental. Se recomienda, para investigaciones futuras, ampliar la evaluación del desempeño del concreto con CaCO_3 biogénico realizando un análisis de ciclo de vida y de impacto económico integral para estimar con mayor precisión el potencial de escalamiento industrial del uso de este aditivo. Su implementación podría representar un avance significativo en la producción de materiales de construcción sustentables en Tabasco y en otras regiones costeras del país, fortaleciendo la relación entre la innovación científica, la gestión de residuos y el desarrollo sostenible en la ingeniería civil contemporánea.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

REFERENCIAS

- Acuinde Guzmán, J. K., Terrazas Razo, O., Guerrero Magaña, K. L., Sánchez Maldonado, D. N., Ramírez Sánchez, J. S., García García, J. E., Godoy Sánchez, L. G., & Lozano Veites, L. F. (2019). *Características físicas y químicas del agua*. Coordinación de Universidad Abierta y Educación Digital, UNAM.
- Alvarez Caraveo, B., Guillermic, M., Downey-Wall, A., Cameron, L. P., Sutton, J. N., Higgins, J. A., Ries, J. B., Lotterhos, K., & Eagle, R. A. (2024). Magnesium (Mg/Ca, $\delta^{26}\text{Mg}$), boron (B/Ca, $\delta^{11}\text{B}$), and calcium ([Ca²⁺]) geochemistry of *Arctica islandica* and *Crassostrea virginica* extrapallial fluid and shell under ocean acidification. *EGUsphere*.
- ASTM International. (2013). *ASTM C125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM International.
- ASTM International. (2021). *ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. ASTM International.
- ASTM International. (2018). *ASTM C144: Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*. ASTM International.
- ASTM International. (2013). *ASTM C1585-13: Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. ASTM International.
- C. Echavarría y H. D. Cañola, «Bloques de concreto con emulsión de parafina.» *Lámpsakos*, n° 17, pp. 14-19, 2017.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (s. f.). 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>
- Coveña Moreira, A., Cevallos Burgos, J., Chancay Beltrón, D., & Cedeño Romero, J. (2020). Uso de la grava y su incidencia en la ingeniería civil.
- de los Santos González, C. C., Díaz Perera, M. Á., Ramos Muñoz, D. E., & Gama Campillo, L. M. (2023). Vulnerabilidad en la costa de Tabasco: Coronel Andrés Sánchez Magallanes. *Publicaciones e Investigación*, 17(1).
- El-Nadoury, W. W. (2022). Eco-friendly concrete using by-products as partial replacement of cement. *Frontiers in Materials*, 9, 1043037.
- Gama Campillo, L. M., Díaz López, H. M., Collado Torres, R., Macías Valadez Treviño, M. E., Mata Zayas, E. E., & Figueroa MahEng, J. M. (2023). Implicaciones de la potencial elevación del nivel del mar para la población

- costera de Tabasco, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 38(1), 283–320.
- García-Moreta, L. D., Morrillo-García, V. A., & Guerra-Mera, J. C. (2023). Características de dos agregados gruesos triturados que influyen en la porosidad del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(11), 16–28.
- Gómez Cano, D. M., Puche Gómez, D., Rodríguez Escobar, S., Arias Jaramillo, Y. P., Bernal Correa, R. A., & Ochoa Botero, J. C. (2022). Corrección de humedad en mezclas mediante innovadora técnica termogravimétrica para determinar la absorción de agua en diferentes agregados finos colombianos. *Revista EIA*, 20(39), 1–15.
- Gursel, A. P., & Kucukvar, M. (2024). Concrete with organic waste materials as aggregate replacement. *Applied Sciences*, 14(1), 108.
- H. Darío Cañola y C. Echavarría, «Bloques de concreto con aditivos bituminosos para sobrecimiento,» *Ingeniería y desarrollo*, vol. 35, nº 2, pp. 491-512, 2017.
- Herliati, M., Sagitha, A., Puspita, A. D., Dwi, R., & Salasa, A. (2021). Optimization of gypsum composition against setting time and compressive strength in clinker for Portland composite cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012116.
- Jittin, V., Bahurudeen, A., & Ajinkya, S. D. (2021). Eggshell and rice husk ash utilization as reinforcement in development of composite material: A review. *Materials Today: Proceedings*, 43, 426–433.
- Khamput, P., & Klathae, T. (2022). Utilization of oyster shell as coarse aggregate in concrete. *Journal of Applied Research on Science and Technology*, 21(2), 39–44.
- Liu, S., Zhang, Y., Liu, B., Zou, Z., Liu, Q., Teng, Y., & Zhang, L. V. (2022). Sustainable use of waste oyster shell powders in a ternary supplementary cementitious material system for green concrete. *Materials*, 15(14), 4886.
- López Sánchez, M. E. (2019). Estudio de las propiedades físicas de los materiales pétricos (grava y arena) de la región de Los Ríos. *Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México*.
- López, R., & Martínez, M. (2020). Sustentabilidad y eficiencia energética en la construcción: Retos y soluciones. *Revista de Arquitectura y Construcción*, 35(4), 112-125.
- Martínez Lara, E. J. (2021). *Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados gruesos naturales y de concreto*

reciclado, Chiclayo 2020. Universidad Señor de Sipán.

Matos, M. P. V., Engel, M. E., Mangrum, J. B., & Jackson, G. P. (2021). Origin determination of the Eastern oyster (*Crassostrea virginica*) using a combination of whole-body compound-specific isotope analysis and heavy metal analysis. *Analytical Methods*, 13, 3493–3503.

Mousavi, S. M., & Khodabakhshi, F. (2024). An environmental approach to cement admixtures: Utilization of waste olive seed powder as a biopolymeric admixture. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 61690–61710.

Nilimaa, J. (2023). Smart materials and technologies for sustainable concrete construction. *Developments in the Built Environment*, 15(6), 100177.

Onaizi, A. M., Huseien, G. F., Abdul Shukor Lim, N. H., & Amran, M. (2021). Effect of nanomaterials inclusion on sustainability of cement-based concretes: A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 306, 124850.

ONNCCE. (2015). *NMX-C-061-ONNCCE: Industria de la construcción – Agregados – Método de prueba para la granulometría de los agregados finos y gruesos*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

ONNCCE. (2014). *NMX-C-083-ONNCCE-2014: Industria de la construcción – Concreto hidráulico – Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros y cubos de concreto*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

ONNCCE. (2004). *NMX-C-159-ONNCCE-2004: Industria de la construcción – Concreto – Determinación del contenido de aire mediante el método de presión*. ONNCCE.

ONNCCE. (2016). *NMX-C-159-ONNCCE-2016: Industria de la construcción – Concreto – Determinación del contenido de aire mediante el método de presión*. ONNCCE.

ONNCCE. (2004). *NMX-C-165-ONNCCE-2004: Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. ONNCCE.

ONNCCE. (2019). *NMX-C-077-ONNCCE-2019: Industria de la construcción – Agregados – Determinación de la masa volumétrica y vacíos en los agregados finos y gruesos*. ONNCCE.

ONNCCE. (2004). *NMX-C-073-ONNCCE-2004: Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la consistencia por medio del cono de*

Abrams. ONNCCE.

ONNCCE. (2014). *NMX-C-486-ONNCCE-2014: Industria de la construcción – Concreto – Determinación del tiempo de fraguado por penetración de aguja (Método Vicat)*. ONNCCE.

ONNCCE. (2014). *NMX-C-485-ONNCCE: Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la permeabilidad al agua del concreto endurecido*. ONNCCE.

Rodríguez, A., & Pérez, L. (2020). *Innovaciones en el concreto: Propiedades y aplicaciones de los materiales derivados del cemento*. Editorial Ingeniería Civil.)

Sánchez, A. J., & Barba, E. (2005). Fauna acuática representativa de humedales de Tabasco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76(2), 279–292.

S. Erni, H. Gagoek y K. Purwanto, «Green concrete made of oyster shell waste to support green building material,» *Jurnal Teknology (Sciences and Engineering)*, vol. 78, n° 5, pp. 203-207, 2016.

S. V. Zito, E. F. Irassar y V. F. Rahhal, «Estudio sobre pastas y morteros de cemento Portland con reemplazo por loza sanitaria,» *Avances en Ciencia e Ingeniería*, vol. 7, n° 2, pp. 57-66, 2016.

Silva, R. M., & Oliveira, L. F. (2024). A novel approach to improve the adhesiveness of concrete with bio-admixture: A study in concrete. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 29(4), e20240510.

Susunaga-Miranda, M. A., Estévez-Garrido, B. M., & Susunaga-Estévez, R. M. (2020). *Características de la arena sílica de Alvarado, Veracruz, México. Enfoque UTE*, 11(4).

Tovar-Cabañas, R., Vázquez-Espinosa, S. A., & Villanueva Hernández, H. (2023). Vulnerabilidad, cambio climático e incremento del nivel del mar en Boca del río, Veracruz. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 8(16).

Ultracem Honduras. (2023). Composición química del cemento. <https://b2c.ultracem.co/blog/Cual-es-la-composicion-quimica-del-cemento-y-como-afecta-sus-propiedades> Ultracem Honduras.

Ševčík, R., Šašek, P., & Viani, A. (2018). Physical and nanomechanical properties of the synthetic anhydrous crystalline CaCO₃ polymorphs: vaterite, aragonite and calcite. *Journal of Materials Science*, 53(7), 4022–4033.

Anexo

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional

Título de Tesis:	“Formulación de Mezclas de Concreto Hidráulico Adicionado con CaCO ₃ de Origen Biogénico”.
Autora de la Tesis:	IQ. Ana María León Ramos
ORCID:	https://orcid.org/0000-0001-5396-4135
Resumen de la Tesis:	<p>Las conchas de ostión (<i>Crassostrea virginica</i>) representan un desecho ambiental que afecta al Estado de Tabasco, uno de los principales productores a nivel nacional, la acumulación de residuos provoca problemas de higiene y proliferación de plagas. Estas conchas están compuestas principalmente por carbonato de calcio. El carbonato de calcio (CaCO₃) tiene efectos positivos al incluirlo como aditivo en la mezcla de concreto, que al rellenar los microporos del concreto, ayuda a la microestructura del concreto mejorando la resistencia y la impermeabilidad. aprovechándose para reducir el uso de concreto en la mezcla, con impacto económico en el costo y ambiental al reducir emisiones de la producción de concreto. El CaCO₃ biogénico fue incorporado en las mezclas de mortero en proporciones entre el 5% y el 15% respecto al volumen de cemento. Se evaluó su impacto en la resistencia a la compresión de los morteros, de acuerdo con la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014 (ONNCCE, 2014).</p> <p>Tras analizar los resultados, se determinó que el porcentaje óptimo de CaCO₃, mejoró la resistencia a la compresión de los morteros, incrementándola en un 41.53% respecto a las muestras sin aditivos. Se repitió el análisis en probetas cilíndricas, utilizando el porcentaje de</p>

	<p>8%. Los resultados mostraron que el rendimiento difería, observándose una disminución de la resistencia del 3.2 % a los 28 días de curado. Sin embargo, en ambos casos se alcanzó la resistencia mínima requerida según el diseño de la mezcla (350 kg/cm²).</p> <p>Finalmente, se realizó un análisis de absorción capilar (ASTM International, 2013) para evaluar la permeabilidad de las mezclas con aditivo. Los resultados indicaron que las muestras sin aditivos presentaron el doble de velocidad en la absorción secundaria en comparación con las muestras que contenían CaCO₃. Los resultados obtenidos en los ensayos de morteros y concretos sustentan la propuesta de utilizar el CaCO₃ derivado de conchas de ostión como aditivo. Este material no solo mejora la resistencia y la permeabilidad de las mezclas, sino que ofrece beneficios económicos, dependiendo del volumen de mezcla utilizado</p>
<p>Palabras claves de la Tesis:</p>	<p>Resistencia a la compresión, permeabilidad al agua, conchas de ostión pulverizadas.</p>
<p>Referencias citadas:</p>	<p>De la página 50 a 53</p>