



Determinación del efecto a la resistencia a compresión de la concentración de ceniza de sargazo en morteros de albañilería con materiales calizos de la Península de Yucatán, México

Ramírez Pinto, C. A., Cruz Argüello, J. C., García Uitz, K. del C., Gurrola, M. P. y Trejo Arroyo, D. L. (2026). Determinación del efecto a la resistencia a compresión de la concentración de ceniza de sargazo en morteros de albañilería con materiales calizos de la Península de Yucatán, México [*Postprint*]. *CIENCIA ergo-sum*, 33.

<https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a74>

Sección: Ciencias Exactas y Aplicadas

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Esta versión del artículo es una “versión final del autor” que fue aceptada por un proceso de **evaluación por pares ciegos**. Este documento diferirá en formato respecto a la “versión del editor”, la cual se someterá a un proceso de corrección de estilo y de diseño editorial. De ninguna forma se modificará el contenido. Todas las ideas que se presentan son responsabilidad del autor.

**Determinación del efecto a la resistencia a compresión de la
concentración de ceniza de sargazo en morteros de albañilería con
materiales calizos de la Península de Yucatán, México**
**Determination of the effect of sargassum ash concentration on
compressive strength in masonry mortars with limestone materials from
the Yucatan Peninsula, Mexico**

Carlos Andrés Ramírez Pinto, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal, México

Correo electrónico: D12390316@chetumal.tecnm.mx

ORCID: 0009-0002-6459-826X

Julio César Cruz Argüello, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal, México¹

Correo electrónico: julio.ca@chetumal.tecnm.mx

ORCID: 0000-0001-8664-9422

Karla del Carmen García Uitz, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal, México

Correo electrónico: karla.gu@chetumal.tecnm.mx

ORCID: 0000-0002-6914-2037

Mayra Polett Gurrola, IxM-SECIHTI- Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal, México

Correo electrónico: mayra.pg@chetumal.tecnm.mx

ORCID: 0000-0002-4060-3450

Danna Lizeth Trejo Arroyo, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal, México

Correo electrónico: danna.ta@chetumal.tecnm.mx

ORCID: 0000-001-8744-033X

Recepción: 24 de octubre de 2025

Aprobación: 30 de junio de 2026

RESUMEN

Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la producción de cemento han impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles denominadas Materiales Cementantes Suplementarios (MCS), siendo los residuos de biomasa opciones viables. Este estudio evalúa la ceniza de sargazo calcinada a 600 °C como MCS en morteros con agregado fino regional. Se elaboraron especímenes sustituyendo entre 2.5 y 20 % de ceniza por cemento, evaluando resistencia a compresión a 28 días y microestructura mediante análisis óptico. Los resultados mostraron incrementos de 17.54 y 9.12 % en resistencia para 2.5 y 5 %, respectivamente, así como el aumento de rugosidad superficial con el

¹ julio.ca@chetumal.tecnm.mx

incremento del porcentaje de sustitución. Se concluye que sustituir hasta 5 % de ceniza mejora el desempeño mecánico.

PALABRAS CLAVE: análisis óptico, efecto relleno, materiales cementantes suplementarios, mortero de albañilería, resistencia a la compresión, sargazo.

ABSTRACT

Greenhouse gas emissions generated by cement production have driven the search for sustainable alternatives known as Supplementary Cementitious Materials (SCMs), with biomass residues representing viable options. This study evaluates sargasso ash calcined at 600 °C as SCM in mortars containing locally sourced fine aggregate. Specimens were prepared by replacing 2.5 % to 20 % of cement with ash, and compressive strength at 28 days as well as microstructure were assessed through optical analysis. The results showed increases of 17.54 and 9.12 % in strength for 2.5 and 5 % substitutions, respectively, as well as higher surface roughness with increasing replacement percentage. It is concluded that replacing up to 5 % of cement with sargassum ash enhances the mechanical performance.

KEYWORDS: compressive strength, filler effect, masonry mortar, optical analysis, sargasso, supplementary cementitious materials.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cemento ha ido creciendo en los últimos años, después de los combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo, es la tercera fuente más grande de emisiones antropogénicas hacia la capa de ozono, lo que equivale al 8 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Andrew, 2019). Además, producir cemento conlleva utilizar una gran cantidad de energía, siendo considerado el material más caro entre los materiales de construcción (Danish et al., 2021). Por lo tanto, se han estudiado materiales alternativos para sustituir el uso de cemento, considerados Materiales Cementantes Suplementarios (MCS). Dentro de los MCS, se encuentran los materiales de relleno, los cuales son definidos como finas partículas de calcita (CaCO_3) o cuarzo (SiO_2), del mismo o menor tamaño nominal; además de ser químicamente inertes o casi inertes cuando interactúan con el agua o cemento (John et al., 2018). Debido a las finas partículas y efecto de nucleación, la mayor influencia de los materiales de relleno en los compuestos de base cemento es la temprana reacción del calor de hidratación del cemento, acelerando la formación de productos de hidratación como

el silicato de calcio hidratado (C-S-H), portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y ettringita (Dhandapani et al., 2021), incrementando la resistencia a la compresión a edades tempranas. Por otro lado, las denominadas piedras calcáreas forman más del 15 % de la superficie terrestre, siendo la Península de Yucatán una de las más importantes y únicas en el mundo (Espinosa et al., 2006). El agregado fino utilizado en esta zona, proviene de la trituración de la piedra caliza, que, por su origen kárstico, tiene un alto contenido de carbonato de calcio, porosidad, absorción y contenido de partículas finas. Estas características propician que al prepararse una compósito cementante, ésta exija una mayor cantidad de agua, alterando la relación agua/cemento y por consecuencia las propiedades mecánicas de la mezcla.

En los últimos años se han documentado los impactos ambientales, sociales y económicos que generan año con año el arribo masivo de sargazo a lo largo de las costas del Caribe mexicano y América central, Islas del Mar Caribe, así como las costas del Atlántico tropical y oeste tropical de África. Desde 2011, derivado del cambio climático, aumento de la temperatura del océano, corrientes marinas y de residuos con altas concentraciones minerales se formó el denominado “Gran cinturón de sargazo atlántico” (Johns et al., 2020). Derivado del arribazón desmedido de sargazo se ha alterado el ecosistema marino, reduciendo la población de diferentes especies de fauna marina, reducción del oxígeno en el mar, reducción del pH, aumento de la concentración de nitrógeno y fósforo, daños en los arrecifes de coral y cambio en el color del agua (López-Contreras et al., 2022; Pinteus et al., 2018). También, al descomponerse en las costas se liberan gases potencialmente dañinos para los seres humanos, provocando problemas cardio-vasculares, además de tener contenido de metales pesados como el arsénico en su composición química (Alzate-Gaviria et al., 2021; Resiere et al., 2019). Sin embargo, estudios previos confirman que el sargazo tiene un alto contenido de calcio (Escobar-Medina et al., 2021; Pérez-Salcedo et al., 2019; Rodríguez-Martínez et al., 2020), lo que abre la posibilidad para lograr la revalorización de esta macroalga, siendo la industria de la construcción una de las alternativas más prometedoras para lograr este objetivo.

Por lo tanto, el uso de cenizas de biomasas como materiales de relleno en compuestos de base cemento, han sido ampliamente estudiado. Por ejemplo, Cuenca et al., 2013, empleó sustituciones de 9.4 % de ceniza de árbol de olivo por peso de cemento Portland en concretos

auto-compactables. Los resultados mostraron un incremento en la resistencia a la compresión en 4.87 y 3.84 % a 2 y 7 días de curado, respectivamente, en comparación a la muestra de control. Al-Kutti et al., 2019, utilizó ceniza de palma date, reemplazando 10 % por peso de cemento Portland, incrementando 61.80 % la resistencia a la compresión después de 3 días de curado. Kim et al., 2023, utilizó ceniza de pellets de madera en morteros de albañilería, sustituyendo hasta 10 % por peso de cemento Portland. Los resultados demostraron que, a pesar de que la resistencia a la compresión se disminuyó en 14 %, las emisiones de CO₂ disminuyeron en 7.94 %. Particularmente, el uso de ceniza de sargazo en compuestos cementantes, ha sido poco estudiado. Lyra et al., 2024, utilizó la ceniza de sargazo como sustituto de agregado fino en morteros. Los resultados indicaron que reemplazar de 5 a 10 % de ceniza por peso de agregado fino, la resistencia a la compresión es la misma que la muestra de control a 67 días de curado. Ramírez-Pinto et al., 2025, implementaron sustituciones de 1 y 3 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland en pastas cementantes, incrementando la resistencia a la compresión en 2.06 y 1.08 %, respectivamente, en comparación a la muestra de control. Sin embargo, sustituyendo 5 % tuvo la misma resistencia a la compresión que la muestra de control.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo evaluar la ceniza de sargazo como material cementante suplementario en morteros de albañilería utilizando agregados finos de la región, para determinar el efecto relleno en el incremento de la resistencia a la compresión y matriz microestructural en compuestos cementantes a 28 días de curado, mediante pruebas de resistencia a la compresión y análisis óptico.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1. 1. Recolección y pretratamiento de sargazo

La metodología para lo recolección, pretratamiento y producción de las cenizas de sargazo, fueron basados en el procedimiento descrito anteriormente (Ramírez-Pinto et al., 2025). El sargazo (*Sargassum* spp.) utilizado fue recolectado en las costas de la localidad de Mahahual, Q. Roo, México (Figura 1a). Una vez recolectado se realizó un enjuague con agua de mar para quitar los excesos de arena y organismos adheridos. Para el pretratamiento del sargazo con Ca (OH)₂, primero se sumergió en agua potable caliente (hasta 90 °C) y agitada durante 15 min, para posteriormente dejar escurrir durante 15 min. Al escurrir el agua, se preparó una

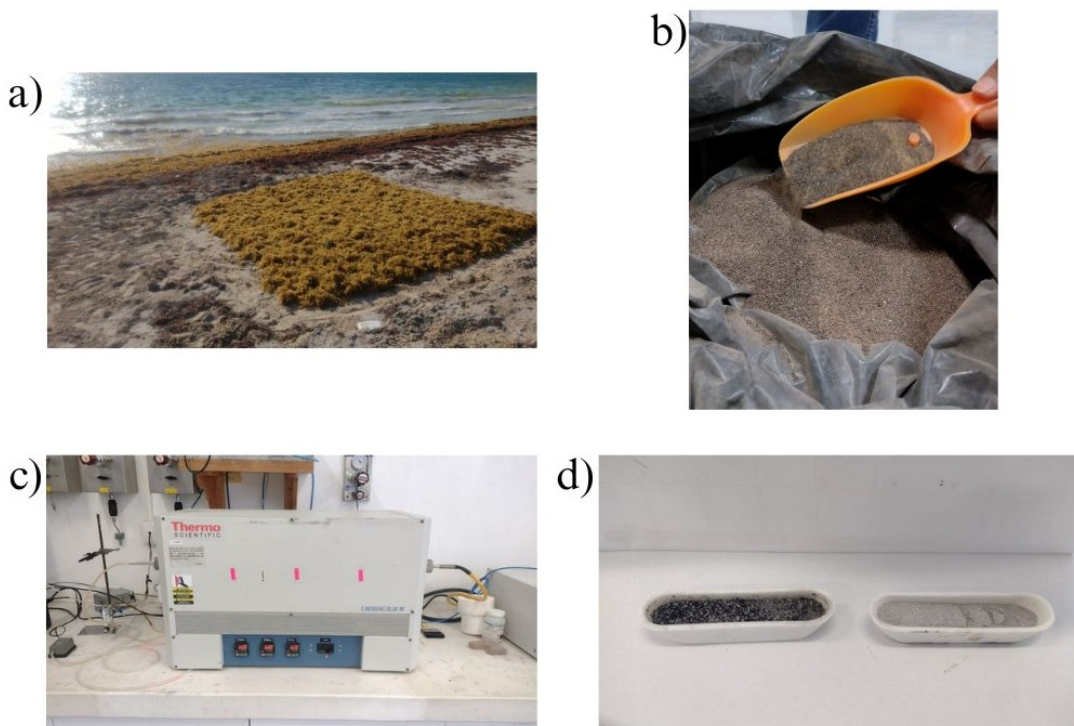
solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en agua destilada con una proporción de 40 g/ 1 L. Se agitó durante 15 min y se extendió en las mallas cribadas galvanizadas para secarse durante 3 días a temperatura ambiente. Cuando el material estuvo seco, se molió durante 10 min hasta alcanzar un tamaño nominal de 1 mm y almacenadas en bolsas plásticas para su posterior calcinación (Figura 1b).

1.2. Obtención de la ceniza de sargazo

Para la obtención de la ceniza se utilizó un horno tubular ThermoScientific Lindberg/Blue M 1100 °C, colocados en recipientes de porcelana resistentes a altas temperaturas. La rampa de calentamiento se fijó en 10 °C/min, hasta alcanzar los 600 °C y el tiempo de residencia fue de 120 minutos en una atmósfera de oxígeno con un flujo constante de 0.5 L/min (Figura 1C). Posteriormente, las cenizas se tamizaron durante 10 minutos hasta pasar por un tamiz #325 (45 μm , Figura 1d)), el tamaño de partícula mínimo requerido para el cemento (ASTM C150/C150M, 2022).

Figura 1

a) Recolección de sargazo en las costas de Mahahual, Q. Roo; b) obtención de polvo de sargazo, posterior a pretratamiento; c) calcinación de sargazo a 600 °C y; d) ceniza de sargazo calcinado a 600 °C



Fuente: Elaboración propia

1.3. Caracterización de agregado fino

El agregado fino triturado de la región empleado fue obtenido en un banco de material localizado en la localidad de Ucum, Quintana Roo. Este agregado fino fue normalizado de acuerdo a la norma ASTM C144, 2018, con la cual se obtuvieron los porcentajes de graduación dentro de los límites establecidos por la norma. Los tamaños de mallas empleadas según la norma antes citada para agregado fino manufacturado son: malla #4 (4.75 mm), malla #8 (2.36 mm), malla #16 (1.18 mm), malla #30 (600 μm), malla #50 (300 μm), malla #100 (150 μm) y malla #200 (75 μm), como se observa en la Figura 2.

Figura 2
Cribado de agregado fino de la región, de acuerdo a norma ASTM C144, 2018



Fuente: Elaboración propia.

1.4. Preparación de especímenes

La fluidez fue medida de acuerdo a la metodología de la norma ASTM C1437, 2020, la cual consiste en extender la muestra sobre el contenedor de fluidez compactándola con el piso por 20 repeticiones. Posteriormente, se agrega otra capa de mortero hasta cubrir por completo el molde y nuevamente se compactó 20 repeticiones con el pisón y se enrasó con la regla de acero inoxidable, como se observa en la Figura 3. Se removió el molde y en la tabla se procedió a levantar 25 veces durante 15 segundos. Con el calibrador se midió el diámetro de

expansión del mortero en cuatro lados diferentes. La fluidez se calculó mediante la Ec. (1), la fórmula de porcentaje de expansión:

$$\% \text{ expansión} = \left(\frac{D_f - D_0}{D_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Dónde D_f es el diámetro promedio de la expansión del mortero después de la prueba (mm), D_0 es el diámetro base del molde (mm).

Figura 3
Realización de prueba de fluidez de morteros, de acuerdo a norma ASTM C1437, 2020



Fuente: Elaboración propia.

1.5. Prueba de resistencia a la compresión y análisis óptico

La prueba de resistencia a la compresión de los morteros se realizó de acuerdo a la norma ASTM C109, 2021. Se prepararon cubos de mortero de 5 cm x 5 cm x 5 cm, reemplazando 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5 y 20 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland compuesto (CPC 30R), además de la muestra de control (Figura 4). Se adoptó la nomenclatura “M” para todos los especímenes seguida por el porcentaje de sustitución; por ejemplo, M-2.5 para los morteros con 2.5 % de sustitución de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland; mientras que para el espécimen de control la nomenclatura fue M-control. Las proporciones de los especímenes se observan en la Tabla 1.

Tabla 1
Proporción de especímenes de morteros de albañilería

Espécimen	Cemento (g)	Ceniza de sargazo (g)	Agregado fino (g)	Relación a/c
M-control	500	-	1375	0.69
M-2.5	487.50	12.50	1375	0.69
M-5	475	25	1375	0.69
M-7.5	462.50	37.50	1375	0.69
M-10	450	50	1375	0.69
M-12.5	437.50	62.50	1375	0.69
M-15	425	75	1375	0.69
M-17.5	412.50	87.50	1375	0.69
M-20	400	100	1375	0.69

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4
Preparación de cubos de mortero, de acuerdo con norma ASTM C109, 2021



Fuente: Elaboración propia

Al término del periodo de curado, se realizó la prueba de resistencia a la compresión mediante la prensa hidráulica. La prueba fue realizada por triplicado con el objetivo de obtener el promedio de la resistencia a la compresión y realizar una reproducibilidad mínima. Posterior a la prueba de resistencia a la compresión, se tomaron muestras de los residuos en forma de hojuelas de aproximadamente 1 cm^2 , con grosor máximo de 1 mm y se sumergieron en acetona de grado analítico durante 1 min para detener el proceso de hidratación de los morteros. Se analizaron las muestras del espécimen M-5 debido al aumento de la resistencia

a la compresión en comparación al espécimen M-control. También se seleccionaron muestras de los especímenes M-10, M-15 y M-20, para observar el desarrollo que ocurre con el aumento de las sustituciones empleadas. Las muestras fueron observadas en un Microscopio Estereoscopio, modelo VE-S3 a 2X.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

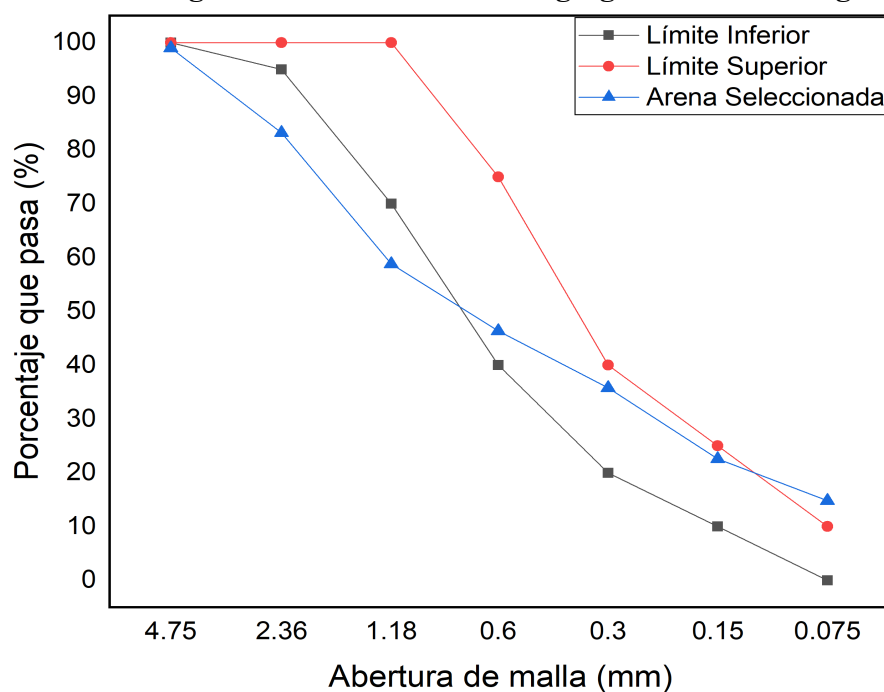
2. 1. Análisis de granulometría de agregado fino de la región

Los resultados de la granulometría inicial y ajustada a la curva de los agregados finos de la región se muestran en la Figura 5. En los resultados de la curva granulométrica inicial del agregado fino se puede observar que el material pasó el 100 % de la malla #4 a la malla #8. Mientras, de la malla #8 a la malla #16 pasó el 83.2 %, de la malla 16 a la malla #30 pasó 58.8 %, de la malla #30 a la malla #50 pasó el 46.4 %, de malla #50 a la malla #100 pasó el 35.8 % y de la malla #100 a la malla #200 pasó el 22.6 % y de la malla #200 a la tara pasó 14.8 %. Estos resultados indican que de la malla #4, #8 y #16 pasan porcentajes menores a los permitidos, esta es una distribución de tamaño de partículas típicas de los agregados triturados o manufacturados. También, se observó que de la malla #200 pasa un porcentaje mayor al límite permitido, indicando una gran cantidad de partículas finas. Por lo tanto, se demuestra que el agregado fino de la región no cumple con los límites establecidos por la norma.

Esta distribución desigual de las partículas de agregado fino, así como la presencia de una gran cantidad de partículas finas (mayor a malla #200), es característicos del agregado calcáreo (Huang & Gong, 2024). A diferencia de otro tipo de agregados como la roca basáltica, que debido a su origen volcánico y compuestos químicos como SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO y Fe_2O_3 , tienen alta densidad, durabilidad y dureza (Yılmaz, 2022), los agregados de tipo calcáreo o kárstico contienen una gran cantidad de partículas finas, alta porosidad y contenido de CaCO_3 , resultando inconveniente en términos de diseños de mezclas cementantes, debido a que absorben una gran cantidad de agua que altera la fluidez o trabajabilidad, así como la relación agua/cemento, comprometiendo las propiedades mecánicas de la mezcla. Por esta razón, es necesario ajustar la curva granulométrica y equilibrar la distribución de partículas, disminuyendo principalmente el contenido de partículas finas por debajo de la malla #200.

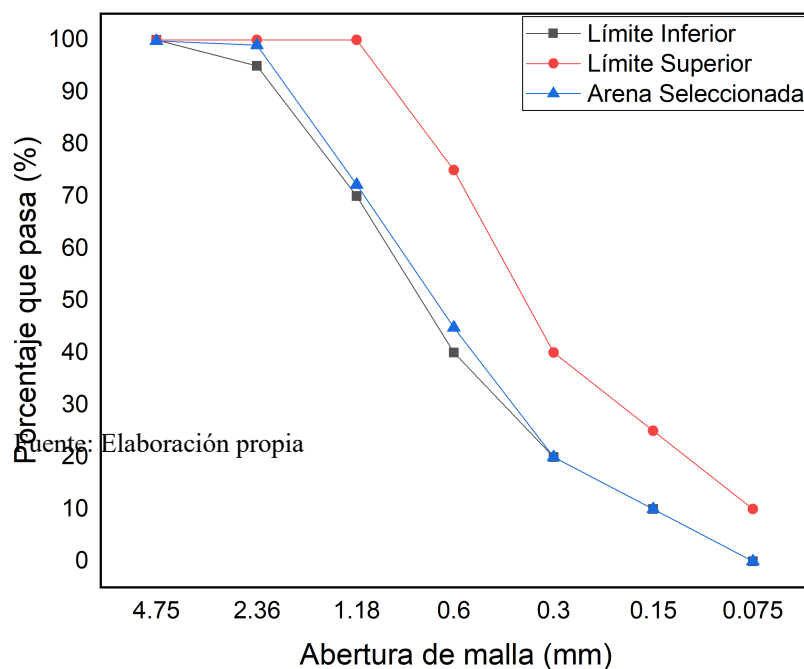
En la Figura 6, se puede observar la curva granulométrica ajustada para que las proporciones del agregado fino de la región esté entre los parámetros permisibles por la norma antes citada. Los porcentajes ajustados fueron los siguientes: de la malla #4 pasó el 100 %, de la malla #8 pasó 99 %, de la malla #16 pasó 72.2 %, de la malla #30 pasó 44.8 %, de la malla #50 pasó 20 %, de la malla #100 pasó 10 % y de la malla #200 no pasó ningún porcentaje del agregado. Con estos porcentajes quedó ajustado el agregado fino para su uso en morteros de albañilería.

Figura 5
Curva granulométrica inicial de agregado fino de la región



Fuente: Elaboración propia

Figura 6
Curva granulométrica ajustada de agregado fino de la región.



Fuente: Elaboración propia

2. 2. Análisis de la prueba de resistencia a la compresión

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se muestran en la Tabla 2 y Figura 7. Los resultados indicaron que M-2.5 y M-5 aumentaron la resistencia a la compresión en 17.54 y 9.12 %, respectivamente, en comparación a la M-control. Mientras que M-7.5, M-10, M-12.5, M-15, M-17.5 Y M-20 disminuyeron la resistencia a la compresión en 2.43, 18.18, 24.68, 30.67, 33.35 y 40.21 %, respectivamente, en comparación a M-control. El aumento en la resistencia se le atribuye a la presencia de partículas finas y del alto contenido de calcita de la ceniza de sargazo (Bilba et al., 2023; Ramírez-Pinto et al., 2025), lo que acelera el proceso de hidratación de los compuestos cementantes e incrementa los sitios de nucleación, características de los materiales de relleno (John et al., 2018). Por lo contrario, la resistencia a la compresión disminuyó con el incremento de las proporciones de sustitución de la ceniza de sargazo por peso de cemento Portland, indicando un claro comportamiento que es atribuido a la disolución del cemento. Al disminuir el contenido de cemento, se reduce la precipitación de los productos de hidratación característicos de los compuestos

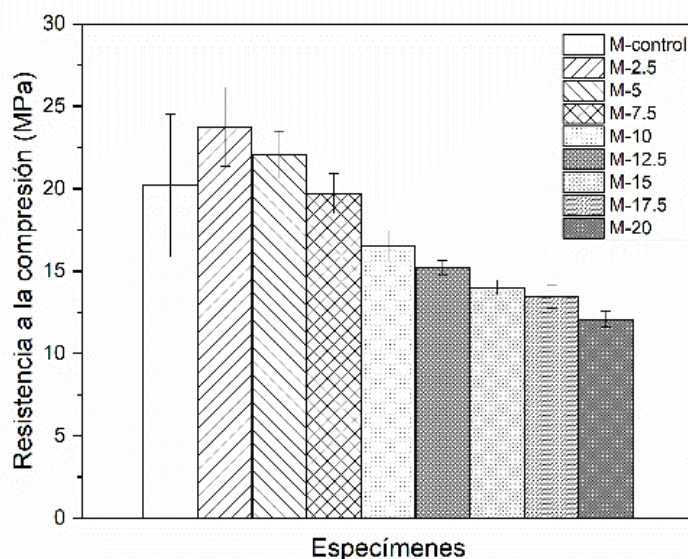
cementantes, principalmente de silicato de calcio hidratado (C-S-H), el cual cumple con una función determinante, debido que es una pasta aglomerante que se adhiere a los agregados finos del mortero y al endurecerse se densifica, produciendo un compuesto mecánicamente resistente.

Tabla 2
Resultados de prueba de resistencia a la compresión de morteros de albañilería, a 28 días de curado

Espécimen	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar	Diferencia
M-control	20.20	4.33	-
M-2.5	23.75	2.39	17.54
M-5	22.05	1.44	9.12
M-7.5	19.71	1.20	-2.43
M-10	16.53	0.93	-18.18
M-12.5	15.22	0.43	-24.68
M-15	14.01	0.44	-30.67
M-17.5	13.46	0.72	-33.35
M-20	12.08	0.47	-40.21

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7
Gráfica de resultados de prueba de resistencia a la compresión de morteros de albañilería, a 28 días de curado



Fuente: Elaboración propia

2.3. Análisis microscópico de los morteros elaborados con ceniza de sargazo

Se realizaron los análisis micrográficos de la muestra M-5 (Figura 8). Se puede observar partículas de color café, amarillo y blanco atribuidos a los agregados finos de piedra caliza empleados para la elaboración de los morteros. Aunado a esto, en la superficie de la matriz cementante se pueden observar pequeñas cavidades de forma esférica, atribuidas al desprendimiento de las partículas de ceniza. Esto indica un claro efecto relleno, debido a que las partículas de ceniza no reaccionan con el agua o con el cemento de la mezcla para formar productos de hidratación característicos de este compuesto cementante.

Figura 8
Matriz cementante de espécimen de mortero con sustitución de 5 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se observa la micrografía de la muestra M-10, es evidente la presencia mayor número de cavidades con respecto a la muestra M-5, de igual manera es posible identificar un ligero incremento en la rugosidad de la superficie del espécimen y de las cavidades, con respecto al espécimen M-5 esto posiblemente atribuido al incremento de la concentración de partículas de ceniza de sargazo, las cuales al fungir como un material cementante suplementario (relleno) provoca un crecimiento cristalográfico desordenado.

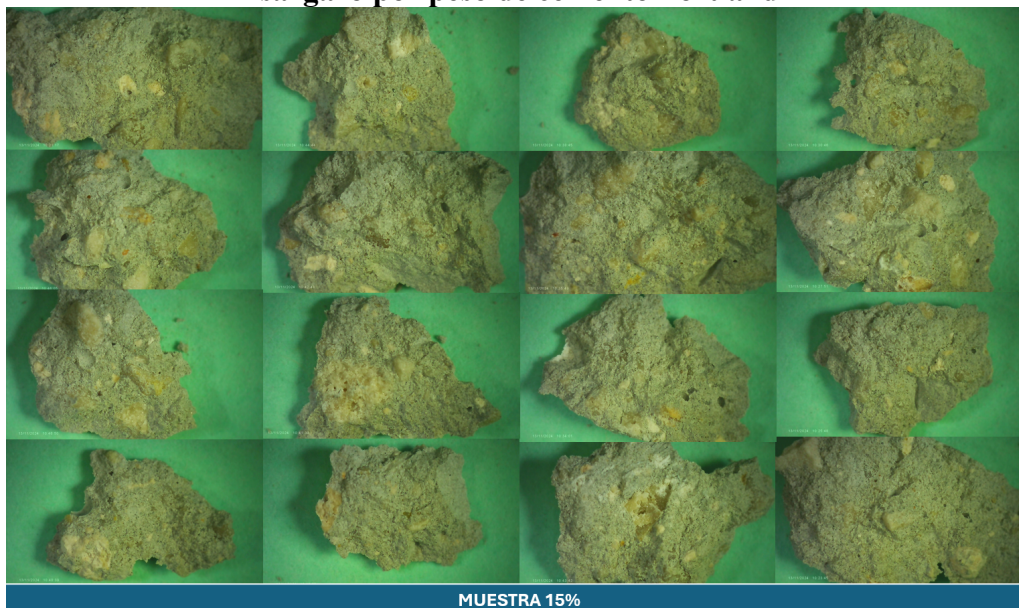
Figura 9
Matriz cementante de espécimen de mortero con sustitución de 10 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland



Fuente: Elaboración propia

En la muestra M-15 (Figura 10), se puede observar un incremento en la rugosidad de la superficie y de las cavidades derivadas del desprendimiento de las partículas de ceniza de sargazo, esto posiblemente atribuido a la débil interacción entre los agregados finos, la ceniza de sargazo y la pasta cementante. También se puede observar que los especímenes cambiaron a un tono más grisáceo en comparación a las muestras M-5 y M-10.

Figura 10
Matriz cementante de espécimen de mortero con sustitución de 15 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland



Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se presentan las imágenes obtenidas de la muestra M-20, se observa un incremento en la rugosidad de la superficie y de las cavidades derivadas del desprendimiento de las partículas de ceniza de sargazo, esto posiblemente atribuido al mismo fenómeno ocurrido en la muestra M-15. Aunado a esto, al incrementar el porcentaje de sustitución, la superficie adopta un color gris más intenso a comparación de las muestras M-5, M-10 y M-15. Esto indica un claro comportamiento, a mayor porcentaje de sustitución, mayor rugosidad, mayor número de cavidades y tono grisáceo más intenso presente en la superficie de la matriz cementante.

Figura 11
Matriz cementante de espécimen de mortero con sustitución de 20 % de ceniza de sargazo por peso de cemento Portland



Fuente: Elaboración propia

PROSPECTIVA

Debido a la contaminación y al alto consumo de energía generada por la producción de cemento a nivel global, se han estudiado nuevos materiales que sustituyan el uso de este material sin disminuir las propiedades mecánicas, además de ser más económicos y sustentables, siendo los residuos de biomásas una de las fuentes más prometedoras. Por otro lado, los impactos generados por el arribo masivo de sargazo han obligado a buscar alternativas para la revalorización de esta macroalga. En este contexto, el sargazo puede ser implementado como material cementante suplementario, debido al alto contenido de calcio que tiene, el cual es un elemento indispensable para que se llevé a cabo el proceso de hidratación del cemento.

De acuerdo a los resultados de esta investigación, se puede confirmar que la ceniza de sargazo puede ser considerado un material cementante suplementario de efecto relleno, debido que incrementó la resistencia a la compresión de los morteros analizados. Por lo tanto, debido a que incrementó esta propiedad mecánica, puede proyectarse a utilizar esta ceniza de sargazo para un compósito base cemento de tipo estructural (concreto), o incluso, analizar el confort

térmico y así contribuir en la reducción de consumo energético. También, es necesario evaluar la durabilidad de estos compuestos para determinar los años de vida útil que pueden alcanzar estos materiales y así garantizar la seguridad de las construcciones donde se implementen. Otra posibilidad que hay, es utilizar otros materiales cementantes suplementarios para mejorar las propiedades y reactividad de esta ceniza, mejorando aun más las propiedades de los compuestos cementantes, además de disminuir aún más el uso de cemento, que es el objetivo principal de estos materiales.

De esta manera, el uso de ceniza de sargazo como material cementante suplementario aun tiene un amplio campo de aplicaciones dentro del sector de la construcción, lo que abre la posibilidad de múltiples estudios y usos para este material innovador.

CONCLUSIONES

El presente estudio confirmó que el agregado fino de la región, como es bien sabido, tiene un alto contenido de partículas finas (por debajo de la malla #200), por lo que se tuvo que ajustar la curva granulométrica. Además, como consecuencia del alto contenido de porosidad del agregado, la relación agua/cemento fue elevada.

También, se confirmó el efecto relleno de la ceniza de sargazo calcinada a 600 °C en morteros de albañilería utilizando agregado fino de la región, sustituyendo hasta 5 % por peso de cemento Portland. Se incrementó la resistencia a la compresión 17.54 y 9.12 %, sustituyendo 2.5 y 5 % de ceniza de sargazo, en comparación a la muestra de control. Por lo contrario, la disminución de la resistencia a la compresión con el incremento de los porcentajes de sustitución se atribuye a la disolución del cemento.

En el análisis óptico se observó el incremento de la rugosidad superficial de la matriz cementante; además de cavidades debido al desprendimiento de las partículas de ceniza de sargazo. Indicando un claro efecto relleno, debido que no reaccionan las partículas de ceniza de sargazo con agua o cemento para formar productos de hidratación.

Para futuras investigaciones se propone utilizar esta ceniza en concretos estructurales y evaluar la durabilidad del compuesto cementante.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las personas que participaron en el proceso de arbitraje por sus contribuciones que, sin duda, mejoraron la estructura y redacción del manuscrito. Este trabajo fue financiado por el Tecnológico Nacional de México (Project 20031.24-P, 22127.25-P “Estudio de la ceniza de sargazo como potencial material cementante en la industria de la construcción, segunda y última etapa”). A Laura G. Rosado-Mena por el apoyo técnico durante el proyecto. C.A. Ramírez-Pinto agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca doctoral otorgada.

REFERENCIAS

- Al-Kutti, W., Saiful Islam, A. B. M., & Nasir, M. (2019). Potential use of date palm ash in cement-based materials. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.01.004>
- Alzate-Gaviria, L., Domínguez-Maldonado, J., Chablé-Villacís, R., Olguin-Maciél, E., Leal-Bautista, R. M., Canché-Escamilla, G., Caballero-Vázquez, A., Hernández-Zepeda, C., Barredo-Pool, F. A., & Tapia-Tussell, R. (2021). Presence of polyphenols complex aromatic “Lignin” in *Sargassum* Spp. From Mexican Caribbean. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.3390/jmse9010006>
- Andrew, R. M. (2019). Global CO₂ emissions from cement production, 1928-2018. In *Earth System Science Data* (Vol. 11, Number 4, pp. 1675–1710). Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>
- ASTM C144: Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*. (n.d.).
- ASTM C150/C150M-22: Standard Specification for Portland Cement*. (2022).
- Bilba, K., Onésippe Potiron, C., & Arsène, M. A. (2023). Invasive biomass algae valorization: Assessment of the viability of *Sargassum* seaweed as pozzolanic material. *Journal of Environmental Management*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118056>
- Cuenca, J., Rodríguez, J., Martín-Morales, M., Sánchez-Roldán, Z., & Zamorano, M. (2013). Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete. *CIENCIA ergo-sum*, Volumen 33, 2026. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Construction and Building Materials, 40, 702–709.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.101>

Danish, A., Ali Mosaberpanah, M., Usama Salim, M., Ahmad, N., Ahmad, F., & Ahmad, A. (2021). Reusing biochar as a filler or cement replacement material in cementitious composites: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 300). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124295>

Dhandapani, Y., Santhanam, M., Kaladharan, G., & Ramanathan, S. (2021). Towards ternary binders involving limestone additions — A review. In *Cement and Concrete Research* (Vol. 143). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106396>

Escobar-Medina, F. J., Rivera-Armenta, J. L., Hernández-Zamora, G., Salazar-Cruz, B. A., Zapién-Castillo, S., & Flores-Hernández, C. G. (2021). Sargassum-modified asphalt: Effect of particle size on its physicochemical, rheological, and morphological properties. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132111734>

Espinosa, G. L., Cerón, C. M., & Gamboa, M. M. (2006). Preliminary laboratory research on some geophysical properties of the shallow sedimentary calcareous rocks of the Yucatan Peninsula. *Ingeniería*, 10(3), 43–51.

Huang, S., & Gong, X. (2024). Effect of Fines Content on the Compression Behavior of Calcareous Sand. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/app142210457>

John, V. M., Damineli, B. L., Quattrone, M., & Pileggi, R. G. (2018). Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. In *Cement and Concrete Research* (Vol. 114, pp. 65–78). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.013>

Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., T. Rueda-Roa, D., Hu, C., Wang, M., Brooks, M. T., Gramer, L. J., & Werner, F. E. (2020). The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269>

Kim, K. W., Park, K. T., Ates, F., Kim, H. G., & Woo, B. H. (2023). Effect of pretreated biomass fly ash on the mechanical properties and durability of cement mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 18.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01754>

López-Contreras, A. M., Valenzuela, P. N., Celis García, B., Driegen, J., Lwanga, E. H., Domin, P., Gurrola, M. P., Rosas-Luis, R., Verde Gómez, Y., & De Vrije, T. (n.d.). *Sargassum in Mexico: From environmental problem to valuable resource*.

Lyra, G. P., Letícia Colombo, A., Felício, A. J., Duran, P., Machado Da, I., Parente, S., Bueno, C., & Rossignolo, J. A. (2024). *The Use of Sargassum spp. Ashes Like a Raw Material for Mortars Production: Composite Performance and Environmental Outlook*. <https://doi.org/10.20944/preprints202402.1630.v1>

Pérez-Salcedo, K. Y., Shi, X., Kannan, A. M., Barbosa, R., Quintana, P., & Escobar, B. (2019). N-doped porous carbon from Sargassum spp. As efficient metal-free electrocatalysts for O₂ reduction in alkaline fuel cells. *Energies*, 12(3).

<https://doi.org/10.3390/en12030346>

Pinteus, S., Lemos, M. F. L., Alves, C., Neugebauer, A., Silva, J., Thomas, O. P., Botana, L. M., Gaspar, H., & Pedrosa, R. (2018). Marine invasive macroalgae: Turning a real threat into a major opportunity - the biotechnological potential of Sargassum muticum and Asparagopsis armata. In *Algal Research* (Vol. 34, pp. 217–234). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.06.018>

Ramírez-Pinto, C. A., Cruz, J. C., Escobar, B., García-Uitz, K., Nahuat-Sansores, J. R., Alvarez, T., & Gurrola, M. P. (2025). Development of Sargassum spp. ash as filler material on cement composites with low carbon dioxide production. *Magazine of Concrete Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/jmacr.24.00325>

Resiere, D., Mehdaoui, H., Névière, R., & Mégarbane, B. (2019). Letter to the editor: Sargassum invasion in the caribbean: The role of medical and scientific cooperation. In *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health* (Vol. 43). Pan American Health Organization. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.52>

Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., García-Sánchez, M., & van Tussenbroek, B. I. (2020). Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ*, 2020(2). <https://doi.org/10.7717/peerj.8667>

Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50mm] Cube Specimens). (2021). ASTM International.
https://doi.org/10.1520/C0109_C0109M-21

Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. (n.d.). *The great Atlantic Sargassum belt*. Retrieved <https://www.science.org>

Yılmaz, A. (2022). Engineering properties of basalt aggregates in terms of use in granular layers of flexible pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01182>

CC BY-NC-ND