



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Estudio de las propiedades biológicas, fisicoquímicas del sargazo en la aplicación como material bioaislante en un mortero

Study of the biological and physicochemical properties of sargassum as a bio-insulating material in a mortar

García-Uitz, K.¹, Cruz-Argüello, J.C.^{1*}, Rosas-Luis, R.², González-Salvatierra, C.², Gurrola, M.P.²

¹ TECNM/ Instituto Tecnológico de Chetumal, Av. Insurgentes 330, 77013, Chetumal, Q. Roo, México.

² IxM CONACYT-Tecnológico Nacional de México/I.T. Chetumal; Insurgentes 330, Chetumal 77050, QR, México.

karla.gu@chetumal.tecnm.mx; julio.ca@chetumal.tecnm.mx*; rigoberto.rl@chetumal.tecnm.mx;
claudia.gs@chetumal.tecnm.mx; mayra.pg@chetumal.tecnm.mx

Innovación Tecnológica: Uso de material biológico como sustituto orgánico en la construcción.

Área de aplicación industrial: Construcción.

Recibido: 23 mayo 2023

Aceptado: 11 octubre 2023

Abstract

The objective of this study is to evaluate the biological, physicochemical and thermal characteristics of a mortar, using sargassum as an organic supplementary cementitious material, which can be used as a thermal insulator. Differentiation and characterization of the collected species was carried out, as well as physicochemical analyzes to determine the elemental and chemical composition and a morphological analysis of the sargassum with techniques such as DRX, FRX and EDS-SEM. The effect of sargassum was evaluated by analyzing substitution proportions in a mortar with 5, 10, 15 and 20%. The results show that the mechanical compressive strength, the thermal conductivity and the thermal transmittance decrease with the increase of sargassum content in the mortar, however, the specific heat increases with respect to the increase of the substitution percentage, indicating a decrease in heat transfer. inside the house.

These results are confirmed by the correlations analyzed, since they present values above $R^2 = 0.94$. It is concluded that the substitution of the stone aggregate with sargassum is possible to use it up to 5%, with 28 days with a mechanical resistance higher than 75MPa.

Keywords: sargassum, mortar, biological, physicochemical, thermal properties.

Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar las características biológicas, fisicoquímicas y térmicas en un mortero, utilizando sargazo como material cementante suplementario orgánico, que permita ser utilizado como aislante térmico. Se realizó la diferenciación y caracterización de las especies recolectadas, así como análisis fisicoquímicos para determinar la composición elemental, química y un análisis morfológico del sargazo con técnicas como DRX, FRX y EDS-SEM. Se evaluó el efecto del sargazo analizando proporciones de sustitución en un mortero con 5, 10, 15 y 20%. Los resultados muestran que la resistencia a la compresión mecánica, la conductividad térmica y la transmitancia térmica disminuyen con el incremento del contenido de sargazo en el mortero, sin embargo, el calor específico aumenta con respecto al aumento del porcentaje de sustitución, indicando una disminución en la transferencia de calor dentro de la vivienda.

Estos resultados son confirmados con las correlaciones analizadas, ya que presentan valores por arriba de $R^2 = 0.94$. Se concluye que la sustitución del agregado pétreo con sargazo es posible utilizarlo hasta en un 5%, con 28 días con una resistencia mecánica mayor a 75MPa.

Palabras clave: sargazo, mortero, propiedades biológicas, fisicoquímicas, térmicas.

1.- Introducción

Desde el 2011, ha sido detectado en el mar Caribe y en otras partes del mundo, toneladas de sargazo a consecuencia de las condiciones climatológicas y ambientales que se han dado en los últimos años (Johns et al., 2020) generando grandes impactos en el turismo, en la salud y en el ambiente. El género de macroalgas marinas Sargassum es uno de los más ricos en especies entre las macroalgas pardas, que abarca más de 350 especies reconocidas (Guiry and Guiry, 2022). La biomasa de algas es considerada como materia prima sostenible para su uso en diversas aplicaciones debido a su rápida tasa de crecimiento y su alta capacidad de fijación de CO_2 (Mistry et al., 2019) y ha sido utilizada en la industria alimentaria,

farmacéutica, cosmética y en la producción de biocombustible (Michalak et al., 2018; Vassilev et al., 2016).

El uso del sargazo en la industria cementera ha sido limitado, por lo que es necesario implementar nuevas tecnologías que tengan un menor impacto en el ecosistema, ya que se le atribuye a esta industria la producción del 35% de las emisiones de CO_2 y entre el 45 y 65% de los residuos que son desechados en vertederos cada año (Ahmad W et al., 2021).

El crecimiento acelerado de la población que se ha dado en los últimos años y por consecuencia, la generación de construcción de diversos edificios y viviendas, ha dado la necesidad de establecer prioridades, entre

ellos una economía sostenible, que permita disminuir los impactos ambientales, económicos y sociales, para dar respuesta a los objetivos de desarrollo sostenible.

Actualmente diversas investigaciones relacionadas han utilizado el extracto de alga parda como aditivo para mejorar parámetros fisicoquímicos del cemento formando una red transitoria, similar a un gel de cadenas de alginato y partículas de cemento (León-Martínez et al., 2014). También ha sido utilizado polvo de alga en la pasta de cemento y tierra de diatomeas para evaluar la resistencia a la compresión y absorción de un mortero (Chahbi et al., 2022; Chen et al., 2021; Saidi et al., 2022). Adicionalmente, algunos estudios donde han utilizado extracto de algas pardas mostraron una buena resistencia y una mayor comparabilidad con respecto a la difusión de cloruro (Hernández et al., 2016).

El mortero es una mezcla homogénea de cemento, agregado fino y agua que se utiliza en trabajos de construcción, reparación de concreto dañado, nivelación de pisos y desarrollo de productos prefabricados como ladrillos, bloques de mampostería, bloques cónicos y tejas (Bunganaen et al., 2006; Ramakrishna and Sundararajan, 2019). La industria de la construcción es una actividad con mayor consumo de energía debido a la necesidad de comodidad que la sociedad exige, en especial en el área de confort térmico (F. Asdrubali, 2015). Actualmente se busca un mejoramiento de las técnicas para diseñar un mortero y de los materiales utilizados para conseguir un ahorro de energía al reducir la conducción del calor exterior hacia el interior de la vivienda, que se genera debido al clima de la región.

Sin embargo, hay que tener en cuenta parámetros como la actividad puzolánica que deben cumplir los sustitutos cementantes en un mortero (Al-Kutti et al., 2019; Hossain et

al., 2016; Khan et al., 2017; Shah et al., 2020; Shahnaz et al., 2016). Así como su capacidad de absorber agua ya que es importante para la durabilidad, ya que en muchos casos es el causante de la entrada de iones, líquidos y gases que son directamente responsables de su degradación y corrosión química (Sicakova et al., 2017).

El objetivo de esta investigación es evaluar las características biológicas, fisicoquímicas y térmicas en un mortero, utilizando sargazo como material cementante suplementario orgánico, que permita ser utilizado como aislante térmico.

La valorización de la biomasa del sargazo, podría contribuir a resolver problemas de acumulación y descomposición dados a partir del arribo masivo atípico de macroalgas además de disminuir el daño económico generado en la región.

2.-Materiales y métodos

2.1.- Recolección y lavado del sargazo: La recolección del sargazo se realizó en Mahahual, Quintana Roo, donde se han detectado grandes cantidades de arribo del alga, las camas de sargazo fueron divididas en 3 zonas: sargazo recién arribado (a 200 m de la costa); sargazo de la zona media (50 m de la costa) y sargazo arribado (orilla, 1 m de la costa). Las muestras se colocaron en bolsas para su traslado a los laboratorios en la Ciudad de Chetumal, para su tratamiento y uso.

Para la eliminación de impurezas se realizó un lavado mecánico de acuerdo a la técnica de Osseni, 2016 y de Benmansour, 2014. A continuación, se realizó un proceso de mercerización para la eliminación de materiales orgánicos, en donde el sargazo fue inmerso en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en una proporción de 40 g de NaOH por cada litro de agua, luego fue

lavado con agua destilada a 80 °C, por último, se sometió a una deshidratación natural por 24 h.

Una vez realizado el lavado se trituró el sargazo hasta obtener una granulometría que cumpla con las características de un agregado fino siguiendo la norma NMX-C077-ONNCCE. Luego se le realizaron pruebas de caracterización tales como: humedad, absorción, peso volumétrico.

2.2.- Determinación de propiedades biológicas

2.2.1.- Identificación de material biológico

Se realizó la diferenciación e identificación de las especies recolectadas en el sargazo recién arribado, separando la muestra y utilizando un microscopio estereoscópico, posteriormente se pesaron en fresco y seco para calcular la biomasa.

Las muestras fueron separadas para identificar los epibiontes que se encontraron dentro de las algas recolectadas y separados por grupos, crustáceos, briozoarios, poliquetos, plantas. Los crustáceos y poliquetos fueron contados. Para los briozoarios y plantas se calculó el porcentaje de acuerdo a la muestra total en peso húmedo. La identificación se realizó utilizando las imágenes y características reportadas por Moreno (2019), Ippolitov y Rzhavsky (2015), Castellanos y Gasca (2002), y Van-Tussenbroek et al., (2010).

2.2.2.- Determinación de clorofila total

Para su determinación se tomaron 10 muestras de algas de cada una de las zonas recolectadas, fueron colocadas en tubos de ensayo con acetona al 90% (2 ml/mg) y homogenizadas y maceradas durante 24 h. Después fueron centrifugadas a 5000 rpm por 10 minutos a 4 °C. Se separó el sobrenadante y se realizó la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS, Shimadzu UV-

1201. Los resultados fueron calculados con las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey, 1995.

2.3.- Caracterización fisicoquímica

2.3.1.- Difracción de rayos X (DRX)

Para determinar la composición elemental de la muestra, los patrones fueron realizados usando un DRX PANalytica modelo Impyrean, 40 kV y 30 mA.

2.3.2.- Fluorescencia de rayos X (FRX)

La composición química fue determinada utilizando un FRX modelo Epsilon 1, 10-50 Kv.

2.3.3.- Espectroscopia de energía dispersa (EDS-SEM)

El análisis morfológico fue llevado a cabo usando un microscopio electrónico de barrido (SEM) modelo JEOL JSM-6010PLUS/LA, equipado con un espectroscopio de energía dispersa (EDS).

2.4.- Diseño y evaluación del mortero elaborado con sargazo

El mortero se diseñó realizando una sustitución del material pétreo, utilizando proporciones del 5, 10, 15 y 20% de sargazo. Para la evaluación y determinación de la funcionalidad del mortero modificado se realizaron pruebas mecánicas y térmicas realizando una comparación con respecto a un mortero convencional.

Las pruebas mecánicas se realizaron a los 3, 7, 14 y 28 días de curado, con base a norma ASTM C109/C109M, se evaluó la resistencia a la compresión, en una prensa eléctrica digital marca ELVEC, elaborando cubos de concreto de 2 in de diámetro, las cuales fueron sometidos a compresión por medio de una prensa hidráulica para determinar su punto de falla, elaborando 3 réplicas por cada proporción determinada.

Para realizar el cálculo de la resistencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{P}{A}$$

Donde:

S= Resistencia a la compresión (MPa).

P= Carga máxima aplicada a la muestra (kg).

A= Área efectiva donde es aplicada la carga (cm²).

El análisis térmico se realizó a los 28 días de curado, se evaluaron la conductividad térmica, calor específico y densidad. La conductividad térmica se utilizó el método de medidor de flujo de calor protegido, que se basa en la norma ASTM E1530, se elaboraron placas circulares con un diámetro de 2 in y un espesor de entre 1 y 2 cm, realizando 5 réplicas por cada porcentaje de sustitución. Dichos resultados fueron evaluados mediante la fórmula:

$$k = \frac{Q \cdot \Delta x}{t \cdot A \cdot \Delta T}$$

Donde:

k= Conductividad Térmica (W/mK)

Q= Calor suministrado (Joule)

t= tiempo (Segundo)

A= Área del espécimen (m²)

ΔT= Gradiente de temperatura (K°)

Δx= Espesor del espécimen (m)

Para evaluar la transmitancia térmica del mortero se realizó con el método de la caja caliente. El cual consistió en colocar una placa de 40 cm de largo, 20 cm de ancho y un espesor entre 1 y 2 cm, en una caja cerrada herméticamente con materiales que impiden el flujo de calor hacia el exterior o hacia el interior.

La evaluación del calor específico se determinó en el equipo DSC Q 200, el cual mide la cantidad de calor que recibe la muestra. Para realizar el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$Cp = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

Donde:

Cp= Calor específico

Q= Cantidad de calor suministrada

m= Masa

Δt= La diferencia de temperatura de la muestra.

La densidad se determinó con el método de la densidad aparente, relacionando la masa de la muestra en función del volumen aparente contemplando espacios vacíos del material. Se realizó el cálculo a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{A}{A - B} \times Q_0$$

Donde:

Q= Densidad del sólido

A= Peso del sólido en el aire

B= peso del sólido en el líquido auxiliar

Q₀= Densidad del líquido auxiliar

P= Empuje hidrostático del sólido en el líquido auxiliar.

3.- Resultados y Discusión

3.1.- Tratamiento del sargazo recolectado

El material recolectado inicialmente fue de aproximadamente 0.36 m³, el cual luego del lavado físico, químico y el proceso de deshidratación natural, disminuyó aproximadamente en volumen un 33.33%. Una vez realizado el lavado, se trituro a un tamaño de partícula menor a 4.75 mm para cumplir con la norma y se le realizó una caracterización (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de caracterización del sargazo.

Parámetro a evaluar	Valor
Humedad (%)	9.49 ± 0.007
Absorción (%)	17.72 ± 0.06
Peso volumétrico seco (Kg/m ³)	413.65 ± 12.96
Peso específico (Kg/m ³)	1228.35 ± 147.30

*Los resultados provienen de tres muestras, se muestra el valor de la desviación estándar.

3.2.- Propiedades biológicas

Se identificaron dos especies de *Sargassum fluitans* (60%), *S. natans* (22%) y en menor cantidad residuos de un alga (18.23%). Se observó un arribo de sargazo con una mayor proporción de *S. fluitans*, que es una especie de modo de vida pelágico.

S. fluitans se diferencia de *S. natans* por la ausencia de la espina en el neumatóforo y de la morfología de los filoides. Los organismos

que arribaron a la costa presentaban una apariencia fresca, saludable, vigorosa, hasta aproximadamente 1 m de longitud, con una gran cantidad de epibiontes (Tabla 2) (Figura 1), siendo éstos un indicador de disminución de la productividad del alga (Moreira y Alfonso, 2013). Sus características físicas indican una coloración verde pardo, de ahí la clasificación de algas pardas, su forma más común es cilíndrica, con pequeñas vesículas rellenas de gas de hasta 3 mm, que les permite flotar (Moreira y Suarez, 2002).

Tabla 2. Epibiontes identificados en muestras de *S. fluitans* y *S. natans*.

Especie	Nombre común	Descripción	Cantidad
<i>Membraniporopsis tubigera</i>	Briozoario	Briozoario formador de colonias incrustantes sobre plásticos, rocas, algas. Forman parches unilaminares sobre la superficie del sustrato. Aparentemente la estructura es de quitina o calcio (Moreno, 2019).	Representó el 16.6% del peso húmedo.
<i>Membraniporopsis membranae</i>	Briozoario	Briozoario formador de colonias incrustantes sobre plásticos, rocas, algas. Forman parches unilaminares circulares sobre la superficie del sustrato (Moreno, 2019).	
<i>Spirorbis spirorbis</i> (Linnaeus, 1758)	Poliqueto tubícola	Es un poliqueto que genera una estructura calcárea milimétrica en forma de espiral, vive generalmente sobre algas y pastos marinos (Ippolitov y Rzhavsky, 2015).	Se encontraron 140 individuos, lo que representa menos del 0.5% de las muestras.
<i>Stylocheiron carinatum</i>	Eufáusido	Son crustáceos con exoesqueletos de quitina, de vida libre y tallas máximas de 1 cm (Castellanos y Gasca, 2002).	Se encontró uno solamente lo que representa el 0.01% del peso húmedo.
<i>Syringodium filiforme</i>	Pasto marino	Es un pasto marino filamentosos que puede alcanzar hasta 50 cm de longitud en las hojas (Van-Tussenbroek et al., 2010).	Representa el 10% del volumen y masa.

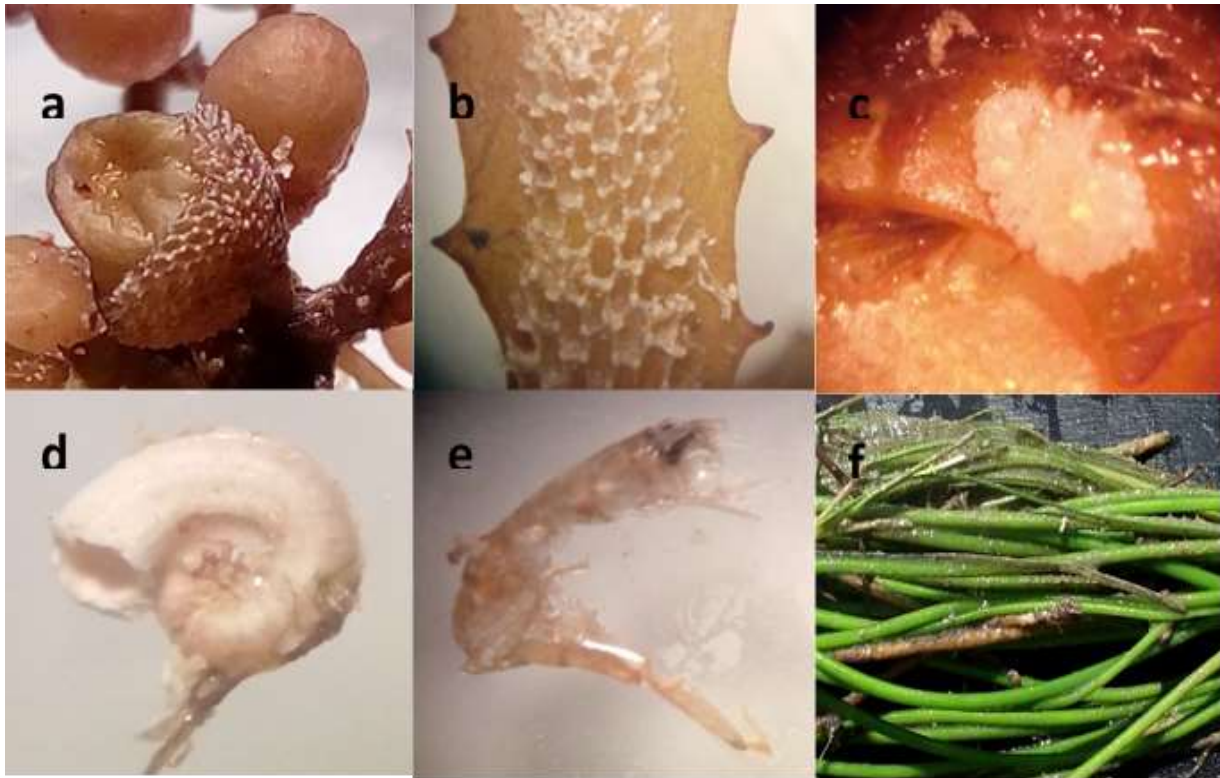


Figura 1. Epibiontes identificados: a) y b) *Membraniporopsis tubigera*; c) *Membraniporopsis membranae*; d) *Spirorbis spirorbis*; e) *Stylocheiron carinatum* y f) *Syringodium filiforme*.

Todas las macroalgas poseen clorofila a, además de otros pigmentos que dan un color característico. En este caso el color marrón u oliva se debe a la combinación del carotenoide ficoxantina presente en sus plástidos con el verde las clorofilas a y c. La luz es importante para la fotosíntesis y repercute directamente en el crecimiento, junto con otros factores como la temperatura y la disponibilidad de carbono inorgánico (Lobban y Harrison, 2004; Wiencke y Kai Bischof, 2012).

La concentración de clorofila-a indica en forma indirecta la biomasa, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas (Gregor y Marsálek, 2004). La

clorofila-a también es un indicador del grado de descomposición y un importante índice del estado fisiológico de las algas (Pinto et al., 2001). Los resultados obtenidos mostraron que las algas recientes contienen una mayor concentración de clorofila a y c (11.4 ± 1.03 y 6.23 ± 0.54 , respectivamente), comparado con las algas colectadas en la orilla (6.75 ± 0.60 y 3.63 ± 0.78 , respectivamente) o en medio de la costa (6.95 ± 0.34 y 4.07 ± 0.59 , respectivamente) indicando su degradación al acumularse en la orilla (Figura 2). La disminución en el contenido de clorofilas está relacionado a la senescencia celular y por lo tanto a la disminución de la actividad fotosintética.

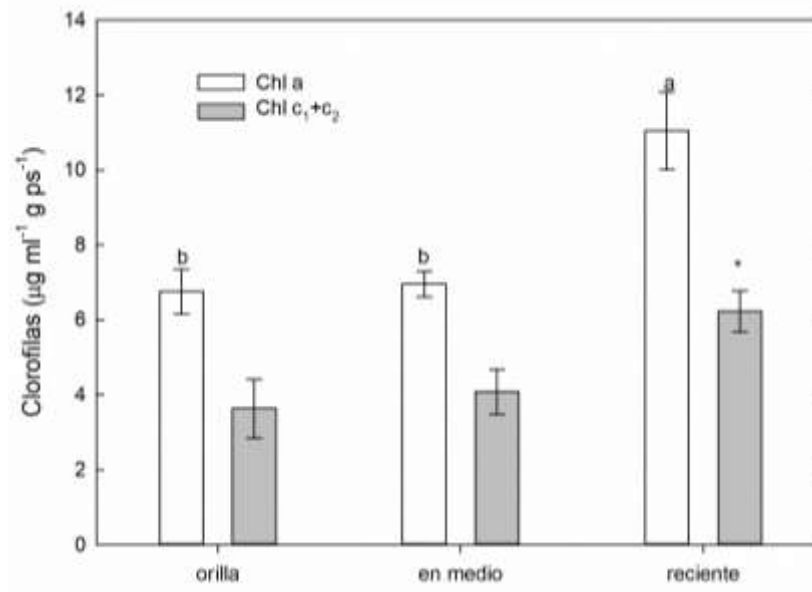


Figura 2. Contenido de clorofila a y c1+c2 de las muestras recolectadas.

3.3.- Propiedades fisicoquímicas

a) Difracción de rayos X (DRX)

La muestra presenta alta intensidad en los picos que corresponden al carbonato de calcio (CaCO_3) JCPDS#47-1743 (Fig. 3), indica que

el sargazo al ser sometido al tratamiento de limpieza de impurezas orgánicas, se obtiene un material similar a la calcita, lo cual representa un componente de la roca caliza, del cual son obtenidos los materiales utilizados en la construcción local.

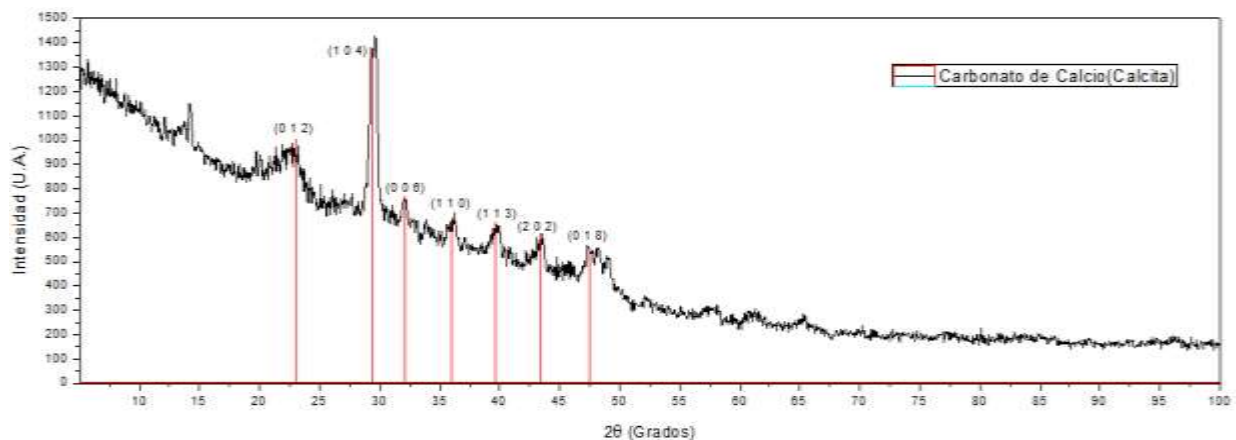


Figura 3. Difractograma de Rayos X del sargazo tratado.

b) Fluorescencia de rayos X (FRX)

El análisis determinó la presencia de diversos compuestos en el sargazo (Tabla 3), encontrándose en mayor proporción el óxido de calcio (CaO) en un 69% y un 21.3% de óxido de sodio (Na_2O). Contiene compuestos que son necesarios que contenga el material

orgánico con el cual se desea realizar la sustitución tales como óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de aluminio (Al_2O_3).

Es importante mencionar que, a pesar del tratamiento que se le aplicó al sargazo, se encontraron compuestos que pueden ser

perjudiciales para la durabilidad del mortero como recubrimiento, por lo cual es necesario aplicar otro tratamiento para eliminar las

impurezas encontradas para obtener un material que cumpla con las características y que beneficie su calidad.

Tabla 3. Compuestos presentes en el sargazo.

Fluorescencia de Rayos X													
COMPUESTO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	ZnO	Br	SrO	Ag ₂ O
UNIDAD	%	%	%	%	%	ppm	%	%	%	%	ppm	%	%
CANTIDAD	21.38	1.42	0.16	1.82	2.53	708.3	0.044	69.02	0.57	0.42	860.4	1.58	0.51

c) Espectroscopía de energía dispersa (EDS-SEM)

Se puede observar que la morfología de las partículas es de un material poroso y sin una morfología definida, predominando

partículas ovaladas y alargadas. Se detectaron elementos predominantes tales como el oxígeno, calcio, carbono y en menor cantidad sodio, magnesio, silicio y aluminio. No se detectaron partículas contaminantes externos (Fig. 4).

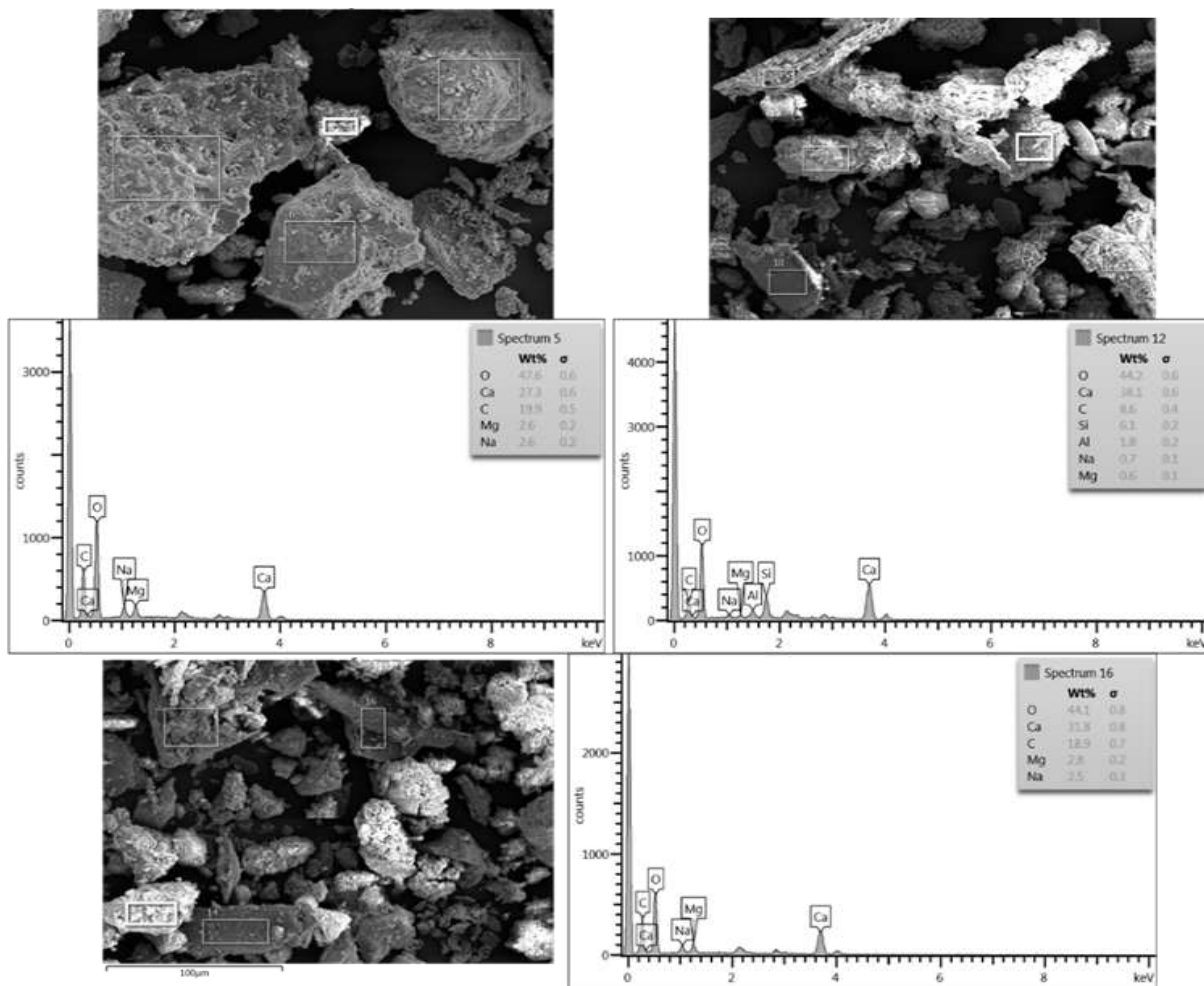


Figura 4. Imágenes del microscopio óptico del sargazo a 500x.

Los resultados obtenidos indican que el material está compuesto de carbonato de calcio (CaCO_3) con partículas de Mg, Al y Si, composición similar al agregado pétreo que se utiliza en la construcción de la región (Fig.

5), sin embargo, la presencia de Na, afectaría la durabilidad del mortero, ya que permitiría el flujo de agentes externos al interior del recubrimiento, disminuyendo la calidad del mismo.

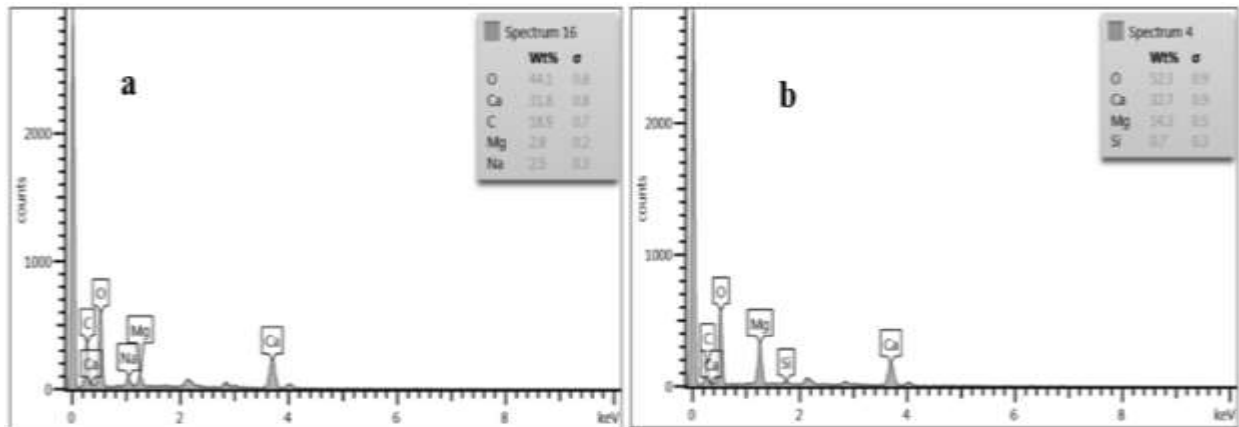


Figura 5. Comparación de la composición química del sargazo (a) y el agregado pétreo regional (b).

3.4.- Caracterización del mortero elaborado con sargazo

El mortero se diseñó con base al manual de dosificación de morteros y dado las pruebas de absorción, humedad, peso volumétrico y peso específico (Tabla 1), se determinaron las

cantidades del material a utilizar en el diseño, proporcionándole una resistencia de diseño de 75 MPa, una fluidez entre 100 y 120% y una relación agua/cemento de 0.99. El mortero está compuesto principalmente por cemento portland, agregado fino, agua y el sargazo como sustituto (Tabla 4).

Tabla 4. Diseño del mortero con el sargazo como sustituto.

% de sustitución	Cemento (gr)	Agua (ml)	Agregado fino (gr)	Sargazo (gr)
0%	325	320	1669.9	0
5%	325	320	1586.4	27.9
10%	325	320	1502.9	55.8
15%	325	320	1419.4	83.7
20%	325	320	1335.9	111.6

a) Resistencia a la compresión

Los datos obtenidos con respecto a la resistencia mecánica de los morteros con el sargazo como sustituto, indican que, el porcentaje del 5% después de 28 días de curado presenta una resistencia $75.87 \text{ MPa} \pm 2.66$, con la cual fue diseñado, sin embargo,

si los comparamos con los porcentajes de 10, 15 y 20 que presentaron resistencias de 23.3 ± 0.9 , 9.2 ± 0.4 y 7.6 ± 0.1 MPa, respectivamente, muestran valores bajos comparados con el parámetro establecido como mínimo al momento de realizar el diseño (Fig. 6).

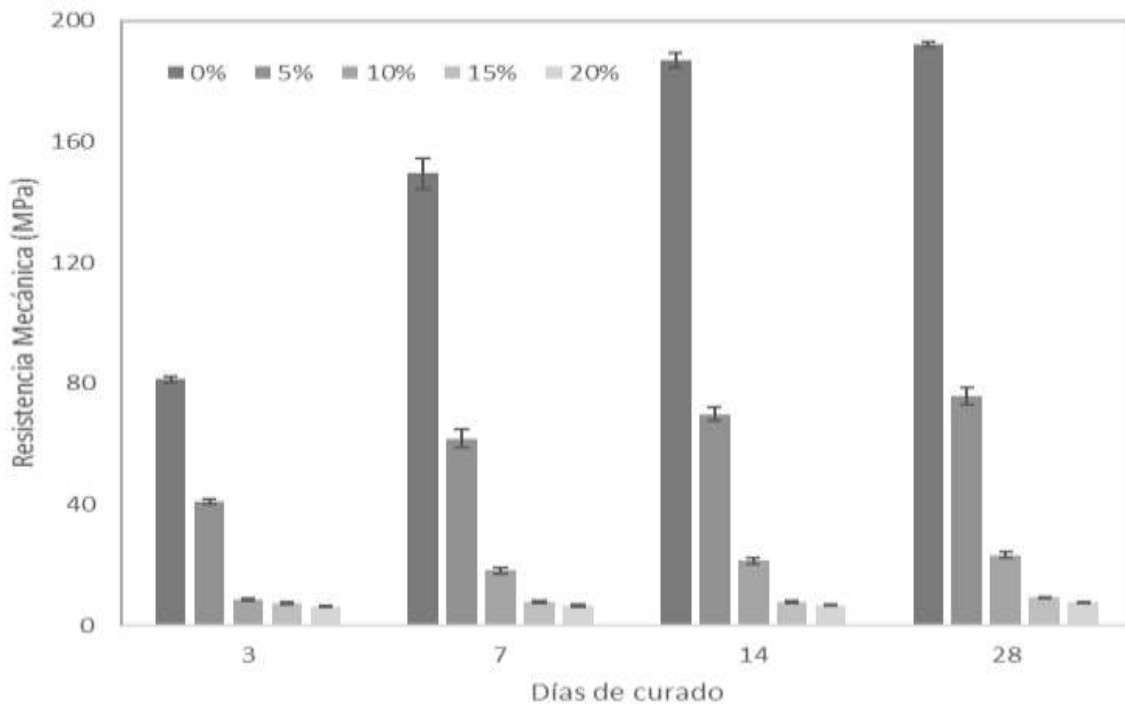


Figura 6. Resistencia mecánica de morteros con diversos porcentajes de sustitución.

Investigadores han utilizado polvo de alga cruda para la sustitución en pasta de cemento utilizando porcentajes de 5, 10, 15 y 20%, encontrando que el porcentaje de 10% es el que muestra una resistencia de 27 MPa, después de 28 días de curado (Chahbi et al., 2022); Chen et al., 2021, utilizaron como sustituto el alga *Chlorella* en un 5% obteniendo una resistencia de 32 MP.

Saidi et al., 2022 utilizaron tierra de diatomeas como sustituto para elaborar morteros con porcentajes de sustitución de 10, 20, 30 y 40%, en donde indican que a medida que incrementa el porcentaje de sustitución la resistencia disminuye obteniendo valores de 37.85, 33.91, 30.39, y 25.59 MPa, respectivamente.

Los resultados de esta investigación se atribuyen principalmente a la hidratación del sargazo, proceso que se da de manera lenta, pero progresiva del agua que va absorbiendo el material del mortero, debido a la cantidad

de espacios vacíos que se generan durante el proceso de fraguado, lo cual está estrechamente relacionado con los datos obtenidos en la morfología por la porosidad y el alto nivel de absorción de agua del material.

b) Densidad y propiedades térmicas

Los resultados indican una densidad que disminuye con respecto al aumento del porcentaje de sustitución que se realiza en el mortero (Tabla 5), lo que indica que a mayor cantidad de sustitución con sargazo presenta una mayor cantidad de espacios vacíos, y una mayor absorción de agua durante el fraguado del mortero conforme va avanzando el tiempo. Los resultados son similares a los reportados por Shafigh et al., 2020, donde estudiaron diversas proporciones de sustitución en un mortero, mostrando valores de 2233 a 1973.4 Kg/m³, indicando que a mayor porcentaje de sustitución en la relación de morteros la densidad disminuye.

Tabla 5. Resultados de densidad, conductividad, transmitancia, calor específico realizados al sargazo natural.

% de Sustitución	Densidad Kg/m ³	Conductividad (W/MK)	Transmitancia (W/MK)	Calor específico (J/g°C)
0%	2027 ± 23.45	0.7814 + 0.046	0.63 + 0.1	0.88409
5%	1868 ± 12.09	0.5122 + 0.083	0.536 + 0.1	0.89309
10%	1753 ± 68.36	0.387 + 0.062	0.523 + 0.1	0.90209
15%	1744 ± 117.20	0.2358 + 0.029	0.474 + 0.1	0.91108
20%	1704 ± 18.85	0.2107 + 0.024	0.405 + 0.06	0.92008

Nota: se muestran los valores promedio de las réplicas y la desviación estándar.

La conductividad térmica y la transmitancia térmica del mortero tiende a disminuir con el aumento del uso del sargazo como sustituto, obteniéndose valores desde 0.78 ± 0.05 W/MK hasta 0.21 ± 0.25 W/MK, lo que se traduce a una disminución del 32% y de 0.63 ± 0.10 W/MK, hasta 0.405 ± 0.06 , con una disminución del 25%, respectivamente.

Con respecto al calor específico se puede observar que, presenta un aumento directamente proporcional con respecto al aumento de porcentaje de sustitución con el sargazo (Tabla 5). Lo que se traduce que a mayor calor específico es mayor la cantidad de energía requerida para calentar el material, es decir que el aumento de esta propiedad es una mejora en las propiedades térmicas en el material.

Estos resultados indican una disminución de la transferencia de calor dentro de la vivienda en donde son utilizados los morteros presentando una mejora en las propiedades del aislamiento térmico aumentando el confort higrotérmico de las mismas.

3.5.- Relación entre parámetros físicos y térmicos de un mortero

En el análisis de un mortero es importante relacionar los parámetros físicos y térmicos, lo anterior para determinar el consumo de

energía, costos y el tiempo en los diversos edificios que se deseen construir actualmente.

Se realizó una correlación entre la conductividad térmica y la compresión, determinando la correlación entre ambos valores, obteniendo una $R^2 = 0.9418$ (Fig. 7), indicando que ambos parámetros tienen una estrecha relación, y son directamente proporcionales dados que ambos disminuyen o aumentan según el porcentaje de sustitución que se utilizó en este estudio. Tomando en cuenta lo anterior se puede determinar que, mientras el porcentaje de sustitución aumente la conductividad térmica y la compresión disminuyen.

Con respecto a las correlaciones entre la compresión y la transmitancia y el calor específico, se obtuvieron valores de $R^2 = 0.7956$ y de $R^2 = 0.7789$, respectivamente. Lo anterior indica que la compresión no impacta de manera directa con respecto a la transmitancia y al calor específico, sin embargo, son parámetros de importancia para evaluar la calidad de un mortero.

Resultados similares fueron reportados por Yükses, 2019, mencionando que hay una relación entre los parámetros de la resistencia con respecto a la conductividad térmica, sin embargo, los resultados obtenidos son de diseños de morteros modificando las proporciones de cemento y arena.

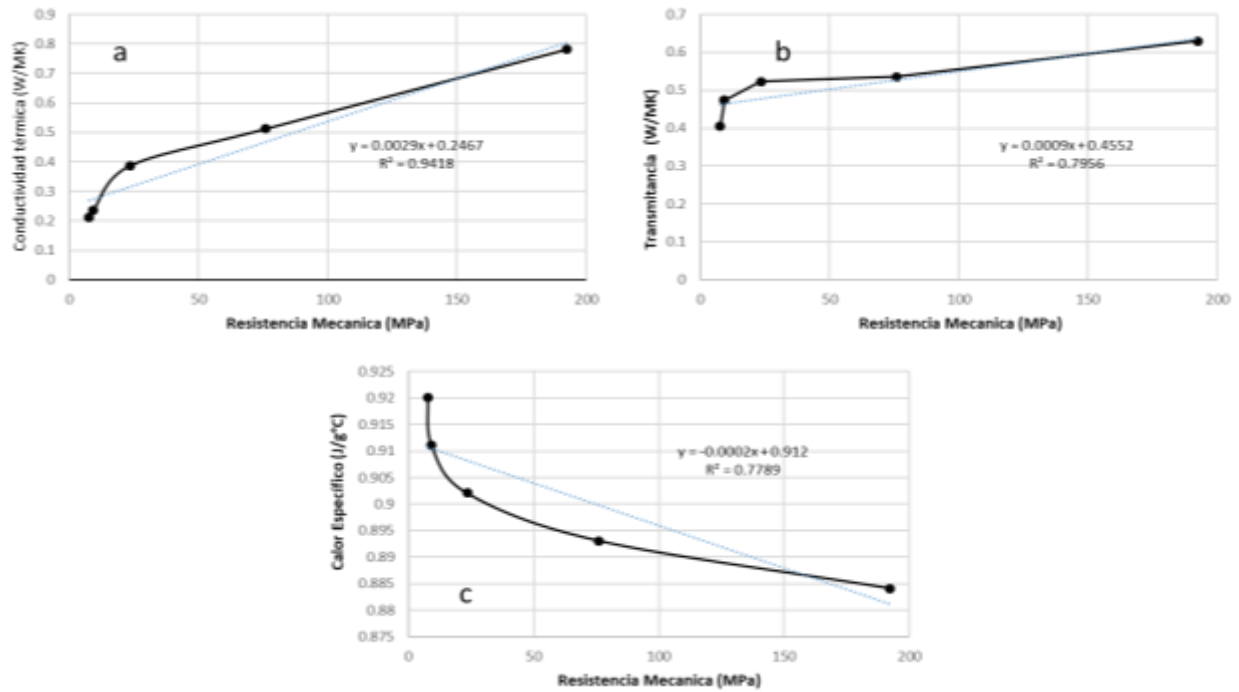


Figura 7. Correlación entre parámetros la resistencia mecánica y la conductividad térmica (a); transmitancia (b) y el calor específico (c).

Otro parámetro importante es la relación entre la densidad, la resistencia mecánica y la conductividad. Con los datos obtenidos se realizó la correlación y se obtuvo que ambos parámetros entran estrechamente relacionados con la densidad del mortero, ya que se obtuvieron $R^2 = 0.978$ y de $R^2 = 0.956$ con respecto a la resistencia mecánica y la conductividad, respectivamente (Fig. 8).

Dado que las propiedades térmicas y físicas de un mortero están en función de la densidad que presenta, es necesario mencionar que en este estudio hay que tomar en cuenta los porcentajes de sustitución del alga por lo que, para los morteros con el 15 y 20% de sustitución disminuyen ambos valores, sin embargo, no obtuvieron una resistencia óptima para su utilización en la construcción.

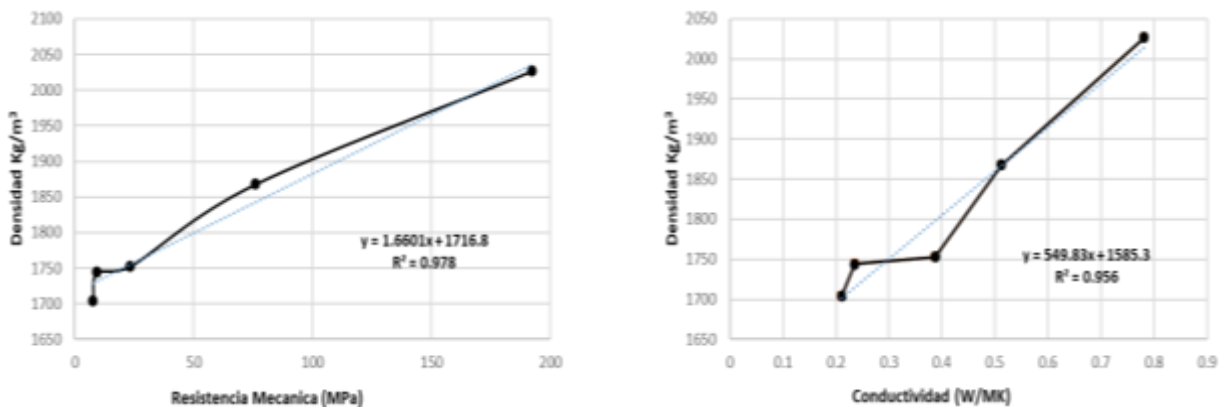


Figura 8. Relación entre la resistencia mecánica y la conductividad con respecto a la densidad de un mortero.

Con la correlación obtenida se infiere que la tendencia de la densidad tiene un impacto mayor en resistencia mecánica que en la conductividad.

Estudios realizados indican que fabricar un mortero con un porcentaje de sustitución del 10% con corcho, los valores de las propiedades térmicas no están controladas por la densidad (Panesar, 2012). Sin embargo, en este estudio se demuestra que si están estrechamente ligadas para obtener un mortero con calidad y que cumpla con las normas establecidas en el país.

Conclusiones

Se identificaron dos especies de sargazo el *S. fluitans* (60%) y *S. natans* (22%). El alga que se recolectó presentó una concentración de clorofila-a y c (11.4 ± 1.03 y 6.23 ± 0.54 , respectivamente) y la recolectada en la orilla (6.95 ± 0.34 y 4.07 ± 0.59 , respectivamente), indicando la senescencia celular y la disminución de la actividad fotosintética.

La sustitución del agregado pétreo con sargazo es posible utilizarlo hasta en un 5% en un mortero, cumpliendo la función como material aislante, con una resistencia mecánica de 75.87 MPa y la reducción de la conductividad térmica hasta en un 34%, disminuyendo la transferencia de calor en un muro proporcionando un bienestar en el interior de las viviendas. No se recomienda el uso del sargazo en sustituciones por arriba del 5% ya que disminuye la resistencia mecánica.

Hay una correlación directa entre la resistencia mecánica y la conductividad térmica con una $R^2 = 0.9418$ y entre la densidad con la resistencia mecánica y la conductividad térmica con $R^2 = 0.978$ y de $R^2 = 0.956$ respectivamente.

Considerando las propiedades evaluadas del mortero con el sargazo como sustituto

cementante, es una alternativa a utilizar en la fabricación de material de construcción sustentable.

Agradecimientos

Al TecNM por el financiamiento del proyecto 16908.23-P “Estudio potencial de la ceniza de sargazo como material cementante suplementario en la industria de la construcción”. Al CONAHCYT por la beca de posdoctorado otorgada.

Referencias Bibliográficas

- Ahmad, W.; Ahmad, A.; Ostrowski, K.A.; Aslam, F.; Joyklad, P. (2021). A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. *Case Stud. Constr. Mater.*, 15, e00683.
- Al-Kutti, W., Saiful Islam, A.B.M., Nasir, M., (2019). Potential use of date palm ash incement-based materials. *J. King Saud Univ. Eng. Sci.* 31, 26–31.
- Asdrubali F., D’Alessandro F, Schiavoni S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies.* 4 1-17.
- ASTM C109/109M-16a, 2016. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens).
- ASTM E1530-99 Standard Test Method For Evaluating The Resistance To Thermal Transmission Of Thin Specimens Of Materials By The Guarded Heat Flow Meter Technique.
- Benmansour, N. Agoudjil B., Gherabli, A. Kareche, A Boundenne A. (2014) Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for

use as insulating materials in building. 81 98-104.

Bunganaen, W., Hunggurami, E., Beingala, Y. (2006). Pengaruh penambahan gula pasir terhadap kuat tekan dan sifat kedap air mortar. *J. Teknik Sipil Univ. Nusa_Cendana* 5 (1), 105–116.

Castellanos, I., Gasca, R. (2002). Eufáusidos (Crustacea:Malacostraca) del centro y sur del Mar Caibe mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 50(1): 77-85.

Chahbi M., Mortadi A., El Moznine R., Monkade M., Zaim S., Nmila R. & Rchide H. (2022). A new approach to investigate the hydration process and the effect of algae powder on the strength properties of cement paste. *Australian Journal of Mechanical Engineering* 1-10.

Chen X, Mohammad G M, Beatty D, and Srubar W. (2021). Retardation of Portland Cement Hydration with Photosynthetic Algal Biomass. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 9, 13726–13734.

Gregor J y Marsálek B. (2004). Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Research* 38(3):517-22. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.033

Guiry, M.D., Guiry, G.M., (2022). *Algae Base*. World-Wide Electronic Publication. National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>.

Hernández, E. F.; Cano-Barrita, P.F.d.J.; Torres-Acosta, A. A. (2016). Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete. *Mater. Constr.*, 66, 7514.

Hossain, M.M., Karim, M.R., Hasan, M., Hossain, M.K., Zain, M.F.M., (2016). Durability of mortar and concrete made up of pozzolans as a partial replacement of cement: a review. *Constr. Build. Mater.* 116, 128–140.

Ippolitov, A., Rzhavsky, A. (2015). Tube morphology, ultrastructures and mineralogy in recent Spirorbinae (Annelida: Polychaeta: Serpulidae). II. Tribe Spirorbini, *Invert. Zool.*, 12, 61–92.

Jeffrey SW. y Humprey GF. (1975). New Spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 y c2 in Higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 167 191-194

Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., Rueda-Roa, T. (2020). The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Prog. Oceanogr.* 182:102269. doi: 10.1016/j.pocean.2020.102269

Khan, M.N.N., Jamil, M., Karim, M.R., Zain, M.F.M., Kaish, A.B.M.A., (2017). Filler effect of pozzolanic materials on the strength and microstructure development of mortar. *KSCE J. Civ. Eng.* 21, 274–284.

León-Martínez, F. M.; Cano-Barrita, P.F.d.J.; Lagunez-Rivera, L.; Medina-Torres, L. (2014). Study of nopal mucilage and marine Brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials. *Constr. Build. Mater.* 53, 190–202.

Lobban CS y Harrison PJ. (2004). *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-521-40334-4

- Michalak, I.; Chojnacka, K. (2018). Introduction: Toward algae-based products, in: Chojnacka, K.; Wieczorek, P.P.; Schroeder, G.; Michalak, I. (Eds.) *Algae biomass: characteristics and applications: towards algae-based products*; Springer International Publishing: Cham; pp 1–5. DOI: 10.1007/978-3-319-74703-3_1.
- Mistry A, Ganta U, Chakrabarty J and Dutta S. (2019). Mistry, A. N.; et al. A review on biological systems for CO₂ sequestration: Organisms and their pathways. *Environ. Prog. Sustainable Energy* 38 (1), 127–136.
- Moreira L. y Suarez A. (2002). Estudio del género *Sargassum* C. AGARDH, 1820 Phaeophyta, Fucales, Sargassaceae) en aguas cubanas. 2. Variaciones morfológicas en *Sargassum natans* (Linnaeus) Meyer en dos localidades. *Rev. Invest. Mar.* 23, 51-68.
- Moreira A. y Alfonso G. (2013). Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Borgeren) Borgeren en la costa centro-sur de Cuba. *Rev Invest Mar* 33(2): 17-20
- Moreno, A.G. (2019). Ectoproctos (= Briozoos). *Apuntes de Zoología*. 1-2. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/465-2013-08-22-I4%20ECTOPROCTOS.pdf> Descargado 25 de mayo 2019.
- NMX-C077-ONNCCE-2018. Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico-Método de Ensayo.
- Osseni, S. O. G. Ahouannou C., Sanya, E. A. Jannot Y. (2016). Investigation on the use of the cement mortar containing banana fibers as thermal insulator in building. 4,1142-1152.
- Panesar D and Shindman B. (2012). The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. *Cement & Concrete Composites*. 34 982-992.
- Pinto A., Von Sperling E., Perling E. y Moreira R. (2001). Chlorophyll-a determination via continuous measurement of plankton fluorescence: methodology development. *Water Res.* 35(16): 3977-3981.
- Ramakrishna and Sundararajan, (2019). A novel approach to rheological and impact strength of fibre reinforced cement/cementitious composites for durability evaluation. In: *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Publishing, Cambridge, US, 389–405.
- Saidi T, and Hasan M. (2022). The effect of partial replacement of cement with diatomaceous earth (DE) on the compressive strength and absorption of mortar. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 34 250–259
- Shafiqh P., Asadi, I, Akhiani A, Mahyuddin N, Hashemi M. (2020). Thermal properties of cement mortar with different mix proportions. *Mater. Construcc.* 70 [339], e224 <https://doi.org/10.3989/mc.2020.09219>.
- Shah V., Parashar, A., Mishra, G., Medepalli, S., Krishnan, S., Bishnoi, S., (2020). Influence of cement replacement by limestone calcined clay pozzolan on the engineering properties of mortar and concrete. *Adv. Cem. Res.* 32 (3), 101–111.
- Shahnaz A., Shahnaz, A., Syahzadi, P., Mujahid, A., Khan, M.S., Abbass, A., Kanwal, A., (2016). Utilization of bio materials as pozzolanic material for partial replacement of cement. *J. Chem. Mater. Res.* 5 (5), 85–91.
- Sicakova, A, Draganovska, M, Kovac, M. (2017). Water absorption coefficient as a

performance characteristic of building mixes containing fine particles of selected recycled materials. Proc. Eng. 180, 2017, 1256–1265.

Wiencke C y Bischof K. (2012). Seaweed Biology. Novel insights into ecophysiology, ecology and utilization. Springer Heidelberg New York. ISBN 978-3-642-28451-9

Van-Tussenbroek, B., Barba-Santos, M.G. Ricardo-Wong, J.G., van-Dijk, J.K., Waycott, M. (2010). Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico oeste. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Yüksek, S., (2019). Mechanical properties of some building stones from volcanic deposits of mount Erciyes (Turkey). Mater. Construcc. 69 [334], e187.

Vassilev, S. V.; Vassileva, C. G. (2016). Composition, properties and challenges of algae biomass for biofuel application: an overview. Fuel 181, 1–33.

Zavala-Arceo, A, Cruz-Arguello, J, Figueroa-Torres, M y Yeladaqui-Tello, A. (2019). Determinación de las propiedades térmicas de un mortero modificado con sargazo como material alternativo en construcción. Revista de Ingeniería Civil. 3-10: 1-9.