



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Edificació  
de Barcelona



Máster Universitario en Construcción Avanzada en la  
Edificación

Trabajo Fin de Máster

Incorporación del Sargazo marino en Bloques de  
construcción Sostenible.

Curso: 2023-2024

Estudiante:

Gabriel Iglesias García

Tutor/es:

Oriol Paris Viviana

Joan Ramon Rosell

Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

Escuela Politécnica superior de Edificación de Barcelona

Convocatoria: Abril / Mayo 2024

# Índice

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Abstract .....</b>                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>2. Introducción .....</b>                                                                        | <b>4</b>  |
| <b>3. Generalidades .....</b>                                                                       | <b>5</b>  |
| 3.1. Planteamiento del problema .....                                                               | 5         |
| 3.2. Motivación del estudio .....                                                                   | 6         |
| 3.3. Objetivo General .....                                                                         | 7         |
| 3.4. Objetivos Específicos .....                                                                    | 7         |
| 3.5. Metodología de trabajo.....                                                                    | 8         |
| <b>4. Estado del Arte.....</b>                                                                      | <b>9</b>  |
| 4.1. Sargazo pelágico marino.....                                                                   | 9         |
| 4.1.1. Especies de sargazo pelágico.....                                                            | 10        |
| 4.1.2. Composición química.....                                                                     | 11        |
| 4.1.3. Componentes principales.....                                                                 | 14        |
| 4.1.4. Minerales y componentes nutricionales.....                                                   | 15        |
| 4.1.5. Metales pesados.....                                                                         | 16        |
| 4.2. Diferencia entre El Sargazo y la Posidonia Oceánica.....                                       | 18        |
| 4.3. Procedencia del Sargazo en el Caribe .....                                                     | 19        |
| 4.4. Cifra estimada de llegada de Sargazo en el Caribe .....                                        | 21        |
| 4.5. Alginato .....                                                                                 | 22        |
| 4.5.1. Alginato como aditivo para mampostería cruda .....                                           | 22        |
| 4.6. Tierra.....                                                                                    | 23        |
| 4.7. Albañilería de tierra cruda .....                                                              | 25        |
| 4.7.1. Técnicas de estabilización .....                                                             | 26        |
| 4.7.2. Materiales orgánicos y biopolímeros como estabilizadores. ....                               | 26        |
| 4.8. Resistencia a la compresión del material terrestre .....                                       | 27        |
| <b>5. Estudios de Bloques hechos con Tierra y Algas marinas .....</b>                               | <b>29</b> |
| 5.1. Compuesto a base de arcilla estabilizado con polímero y fibra naturales (C. Galán-Marín) ..... | 29        |
| 5.1.1. Materiales utilizados.....                                                                   | 29        |
| 5.1.2. Preparación de muestras y procedimientos de prueba.....                                      | 32        |

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.3. Gráficos de Curvas de tensión/deformación .....                                              | 33        |
| 5.1.4. Resultados.....                                                                              | 38        |
| 5.2. El desarrollo de ladrillos de tierra cruda utilizando biopolímeros de algas (C. Dove) 40       |           |
| 5.2.1. Materiales utilizados.....                                                                   | 40        |
| 5.2.2. Preparación de la muestra .....                                                              | 41        |
| 5.2.3. Procedimiento de prueba .....                                                                | 42        |
| 5.2.4. Resultados.....                                                                              | 44        |
| <b>6. Estudio del sargazo en la aplicación como material bioaislante en un mortero (J. Cruz) 46</b> |           |
| 6.1. Materiales utilizados.....                                                                     | 46        |
| 6.2. Preparación de la muestra .....                                                                | 46        |
| 6.3. Procedimiento de prueba .....                                                                  | 46        |
| 6.4. Resultados .....                                                                               | 48        |
| <b>7. SargaBlock (México).....</b>                                                                  | <b>52</b> |
| <b>8. SargaCreto (México) .....</b>                                                                 | <b>56</b> |
| <b>9. Tablas comparativas de las propiedades de los bloques .....</b>                               | <b>58</b> |
| <b>10. Tabla comparativa de precios de tipos de Bloques en México.....</b>                          | <b>58</b> |
| <b>11. Conclusiones .....</b>                                                                       | <b>59</b> |
| <b>12. Futuras líneas de investigación .....</b>                                                    | <b>60</b> |
| <b>13. Bibliografía .....</b>                                                                       | <b>61</b> |
| <b>14. Agradecimientos .....</b>                                                                    | <b>70</b> |

## 1. Abstract

En un mundo cada vez más consciente de los impactos ambientales de la construcción, la búsqueda de materiales orgánicos y sostenibles se ha convertido en una prioridad. La construcción tradicional racionalizada, basada en materiales como el cemento y el acero, ha contribuido significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero y a la degradación del medio ambiente. Ante esta realidad, se hace imperativo explorar alternativas que no solo reduzcan la huella ecológica de la construcción, sino que también promuevan la preservación de los ecosistemas marinos.

En este contexto, el sargazo marino emerge como un recurso potencialmente invaluable para la construcción sostenible. A lo largo de las costas del Caribe, el sargazo ha sido objeto de preocupación debido a su proliferación descontrolada, lo que ha generado problemas ambientales y económicos. Las playas caribeñas, conocidas por su belleza natural y su importancia para el turismo, se enfrentan a la invasión masiva de sargazo, lo que afecta tanto a los ecosistemas marinos como a las comunidades costeras que dependen de ellos.

Sin embargo, esta plaga marina podría convertirse en una solución para la construcción sostenible. La transformación del sargazo en bloques de construcción ofrece una oportunidad para mitigar los problemas de contaminación ambiental al tiempo que se aprovechan los recursos disponibles de manera responsable. La utilización de materiales orgánicos como el sargazo no solo reduce la dependencia de los recursos no renovables, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas marinos alentando la limpieza de las playas y la gestión adecuada de los residuos.

Este estado del arte se propone explorar el potencial del sargazo marino como material de construcción, destacando su viabilidad técnica, su posible impacto ambiental y su relevancia para la construcción sostenible en el Caribe. Al abordar esta temática, se espera generar conocimiento que impulse la adopción de prácticas constructivas más respetuosas con el medio ambiente y contribuya a la preservación de los valiosos recursos naturales de la región.

## 2. Introducción

En el ámbito de la construcción, la selección de materiales es una consideración crítica no solo por sus implicaciones en la durabilidad y estética de los edificios, sino también por su impacto ambiental. La industria de la construcción es un sector significativo en términos de consumo de energía y contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la transición hacia el uso de materiales naturales y renovables se presenta como una estrategia vital para mitigar estos impactos. Entre estos materiales, el sargazo emerge como una opción innovadora y sostenible para la fabricación de bloques de construcción.

El sargazo, un alga marina que frecuentemente llega a las costas en grandes cantidades, representa no solo un desafío ambiental por su acumulación, sino también una oportunidad para la construcción sostenible. Su uso en la fabricación de bloques aprovecha un recurso orgánico abundante y de rápido crecimiento, contribuyendo a la reducción de la energía incorporada y la huella de carbono en los proyectos de construcción. Además, el sargazo, al ser utilizado en la construcción, ayuda a crear ambientes interiores más saludables y confortables, alineándose con la tendencia global hacia la valorización de los materiales de bajo impacto.

La creciente importancia de las evaluaciones ambientales y el análisis de ciclo de vida (ACV) en la selección de materiales respalda la necesidad de explorar alternativas más verdes y sostenibles. En este escenario, materiales como la madera, la paja, y especialmente materiales provenientes de recursos naturales como el sargazo, están ganando popularidad como soluciones de bajo impacto que ofrecen ventajas tanto ecológicas como de sostenibilidad. Esta tendencia no solo refleja un cambio hacia prácticas de construcción más responsables con el medio ambiente, sino que también marca un área de investigación en crecimiento, donde el sargazo se posiciona como un material que puede ser prometedor para innovar en la industria de la construcción.

### 3. Generalidades

#### 3.1. Planteamiento del problema

El Caribe, con sus paradisíacas playas y su rica biodiversidad marina, enfrenta una crisis ambiental de proporciones preocupantes debido a la proliferación descontrolada del sargazo marino. Este fenómeno, lejos de ser solo una molestia estacional, ha evolucionado hasta convertirse en una amenaza persistente que afecta tanto a los ecosistemas marinos como a las comunidades costeras que dependen de ellos.

El sargazo, una macroalga que florece en las aguas tropicales y subtropicales, ha invadido las costas caribeñas en cantidades alarmantes, generando una serie de consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la economía local. Entre los principales problemas asociados con la presencia masiva de sargazo en las playas se incluyen:

- **Contaminación Ambiental:** El sargazo, al acumularse en las playas, genera un deterioro de la calidad del agua y del suelo, liberando compuestos orgánicos que pueden afectar negativamente a la flora y fauna marina, así como a los ecosistemas costeros.
- **Impacto económico:** Las playas afectadas por el sargazo pierden su atractivo turístico, lo que tiene un impacto directo en la economía local, ya que el turismo es una de las principales fuentes de ingresos para muchas comunidades costeras del Caribe.
- **Problemas de Salud Pública:** La descomposición del sargazo puede generar olores desagradables y liberar gases tóxicos como el ácido sulfhídrico, amoníaco y metano, lo que representa un riesgo para la salud de las personas que viven cerca de las zonas afectadas.

Ante esta problemática, surge la necesidad imperante de buscar soluciones que permitan abordar tanto la proliferación del sargazo como sus impactos negativos en las comunidades costeras. En este contexto, la utilización del sargazo marino como material de construcción para la fabricación de bloques de construcción sostenibles se presenta como una posible solución.

### 3.2. Motivación del estudio

La motivación para llevar a cabo este estudio surge de la necesidad apremiante de abordar los desafíos ambientales y socioeconómicos que enfrenta la región del Caribe debido a la proliferación del sargazo marino. Esta macroalga, que ha invadido las costas caribeñas en cantidades masivas, representa una amenaza para los ecosistemas marinos, la economía y el bienestar de las comunidades costeras en toda la región.

En este contexto, el uso del sargazo marino como material de construcción para la fabricación de bloques de construcción sostenibles surge como una solución potencialmente innovadora y efectiva. La transformación de este recurso abundante pero problemático en bloques de construcción ofrece una oportunidad para abordar tanto la proliferación del sargazo como sus impactos negativos en las comunidades caribeñas.

La motivación detrás de este estudio radica en varios factores clave:

- **Sostenibilidad Ambiental:** La utilización del sargazo marino como material de construcción ofrece la posibilidad de reducir la dependencia de los recursos no renovables y promover prácticas constructivas más respetuosas con el medio ambiente.
- **Mitigación de la Contaminación:** La proliferación del sargazo en las playas del Caribe ha generado problemas de contaminación ambiental, afectando la calidad del agua y del suelo y comprometiendo la salud de los ecosistemas marinos. El uso del sargazo para fabricar bloques de construcción ofrece la posibilidad de mitigar este problema al reducir la cantidad de sargazo que llega a las playas y su posterior descomposición.
- **Desarrollo socioeconómico:** La transformación del sargazo en bloques de construcción podría impulsar el desarrollo socioeconómico en la región del Caribe, donde los recursos se utilizan de manera más eficiente y se minimiza el desperdicio. Esto podría crear oportunidades económicas para las comunidades locales, tanto en la recolección y procesamiento del sargazo como en la fabricación y venta de bloques de construcción.

### **3.3. Objetivo General**

El objetivo general de esta investigación es evaluar el potencial del sargazo marino como material de construcción en la región del Caribe, con un enfoque específico en su uso para la fabricación de bloques de construcción. Se busca analizar la viabilidad técnica, ambiental, económica y social de esta alternativa, con el fin de contribuir al desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles y a la mitigación de los problemas asociados con la proliferación del sargazo en las costas caribeñas.

### **3.4. Objetivos Específicos**

- Estado del arte de la composición química y física del sargazo marino disponible en la región del Caribe, incluyendo sus propiedades mecánicas y estructurales relevantes para su uso como material de construcción.
- Estado del arte de la viabilidad técnica de la fabricación de bloques de construcción utilizando sargazo marino como uno de sus componentes principales, considerando procesos de recolección, procesamiento y fabricación.
- Valorar el comportamiento físico, mecánico y acústico de los bloques de construcción elaborados con sargazo marino, incluyendo pruebas de resistencia, durabilidad, absorción acústica y transmitancia sonora.
- Estimar el impacto ambiental de la utilización del sargazo marino como material de construcción, considerando aspectos como la reducción de la contaminación en las playas y su contribución a la conservación de los ecosistemas marinos.
- Analizar la viabilidad económica y social de la utilización del sargazo marino en la construcción, incluyendo el costo de producción de los bloques de construcción, su precio de mercado, el impacto en la economía local y las oportunidades de empleo generadas.
- Proponer recomendaciones y estrategias para promover el uso sostenible del sargazo marino como material de construcción en el Caribe, con el objetivo de maximizar sus beneficios y minimizar sus impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad.

### 3.5. Metodología de trabajo

La metodología propuesta para esta investigación sobre el uso del sargazo marino como material de construcción en el Caribe se basa en un enfoque integrador que abarca aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales. Dado que no se realizará la recolección y análisis directo del sargazo marino, la información necesaria se obtendrá de investigaciones ya publicadas y fuentes de información confiables. A continuación, se detalla la metodología a seguir:

- **Revisión Bibliográfica:**

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con el sargazo marino como material de construcción, así como con otros aspectos relevantes como su composición química, propiedades físicas y mecánicas, y su impacto ambiental.

- **Análisis de Estudios Previos:**

Se analizarán estudios previamente realizados sobre la fabricación y caracterización de bloques de construcción utilizando sargazo marino, tanto a nivel regional como internacional, con el fin de identificar patrones, tendencias y áreas de oportunidad.

- **Diseño del Proceso de Fabricación:**

Se utilizarán los datos y hallazgos obtenidos de la revisión bibliográfica y el análisis de estudios previos para diseñar un proceso de fabricación de bloques de construcción con sargazo marino, teniendo en cuenta las mejores prácticas y lecciones aprendidas de investigaciones anteriores.

- **Propuestas y Recomendaciones:**

Se elaborarán recomendaciones y estrategias basadas en los resultados obtenidos, con el objetivo de promover el uso sostenible del sargazo marino como material de construcción en el Caribe, y se identificarán posibles barreras y oportunidades para su implementación.

## 4. Estado del Arte

### 4.1. Sargazo pelágico marino

El sargazo marino es un tipo de alga macroscópica que forma grandes acumulaciones flotantes en los océanos tropicales y subtropicales de todo el mundo. Estas acumulaciones, conocidas como "mares de sargazo", pueden cubrir extensas áreas de la superficie del mar y tienen un color que va desde el marrón oscuro al dorado. El sargazo marino se compone de varias especies de algas pardas del género *Sargassum*, siendo el *Sargassum natans* y el *Sargassum fluitans* los más comunes en el Atlántico Norte y el Caribe. [1]

Figura 1. Sargazo marino



Fuente: NOAA, 2021 [2]

Figura 2. "Mar de Sargazo"



Fuente: Fundación Aquae, 2021 [3]

A diferencia de otras algas que se adhieren al fondo del mar, el sargazo marino es un alga flotante que se mantiene en la superficie gracias a pequeñas vesículas llenas de gas. Estas vesículas, llamadas "flotadores", le proporcionan al sargazo su característica de flotación, permitiéndole viajar a la deriva por los océanos.

Aunque el sargazo marino desempeña un papel crucial en los ecosistemas marinos, su proliferación excesiva puede convertirse en un problema, especialmente cuando grandes cantidades llegan a las costas. En los últimos años, se ha observado un aumento en la cantidad de sargazo que llega a las playas del Caribe, causando problemas ambientales, económicos y sociales. La acumulación masiva de sargazo en las playas puede afectar la calidad del agua y del suelo, reducir el atractivo turístico de las playas y dificultar la vida de las comunidades costeras que dependen del mar para su subsistencia.

Figura 3. Acumulación de Sargazo en playa Dominicana

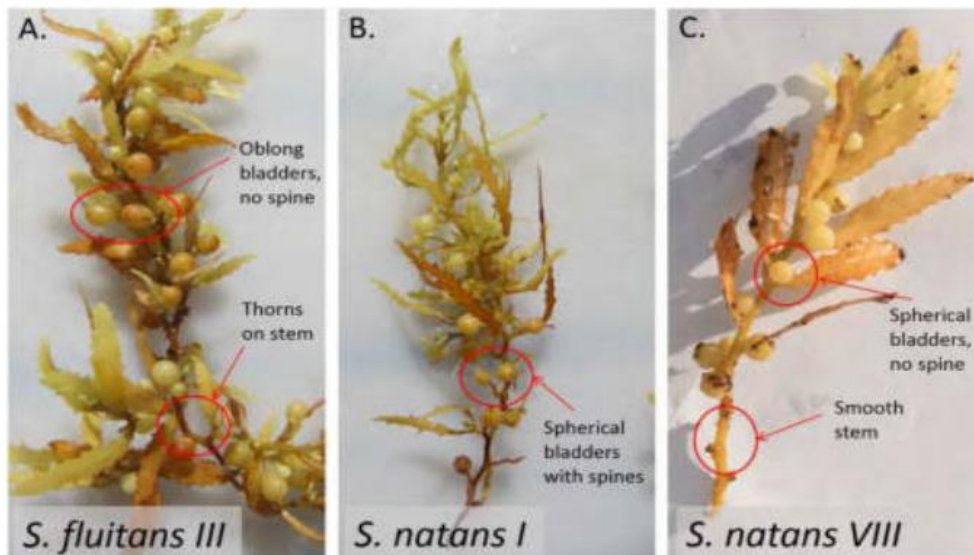


Fuente: Forum Natura, 2021 [4]

#### 4.1.1. Especies de sargazo pelágico

El Sargazo pelágico (que flota libremente) (perteneciente al grupo de las algas pardas) del Atlántico ecuatorial comprende una mezcla de dos o posiblemente tres especies diferentes de *Sargassum* (ver Figura 4), nombradas *Sargassum fluitans* III, *Sargassum natans* I y *Sargassum natans* VIII [5].

Figura 4. Tipos de Sargazo (*Sargassum*)



Fuente: Guía para el uso del *Sargassum*, 2020 [5]

Estas especies son únicas entre las más de 300 especies de sargazo conocidas en todo el mundo, al ser las únicas que pasan todo su ciclo de vida a flote, en lugar de adheridos al fondo marino. Como tales, se consideran ser "holopelágico". También se cree que se

encuentran sólo en el Océano Atlántico (balsas flotantes de sargazo reportadas en otras partes del mundo no son las mismas especies holopelágicas, sino que comprenden otras especies de sargazo con una fase bentónica en su ciclo de vida). El sargazo holopelágico del Atlántico también se cree que sólo se reproduce vegetativamente a través del crecimiento y la fragmentación, y es capaz de duplicar su biomasa muy rápidamente bajo las condiciones adecuadas (9-20 días). [6]

El sargazo flotante viaja con las corrientes oceánicas y también está influenciado por los vientos superficiales. flota como talos individuales dispersos o más a menudo en balsas que comprenden muchos individuos enredados para formar líneas largas (hileras) o parches en forma de lágrima que pueden tener desde unos pocos metros hasta cientos de metros de ancho [7]. Se sabe muy poco sobre sus tasas de crecimiento y mortalidad a medida que viaja, aunque los nutrientes, se sabe que especialmente los fosfatos, la salinidad y la temperatura afectan su tasa de crecimiento [6].

#### **4.1.2. Composición química**

La composición química aquí se refiere a tres grupos principales de sustancias químicas: (1) "elementos" (por ejemplo, carbono (C), sodio (Na), hierro (Fe), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), etc.); (2) "compuestos inorgánicos" (por ejemplo, agua, sales, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, etc.) y (3) "compuestos orgánicos" (por ejemplo, carbohidratos, lípidos, proteínas, etc.).

En general, las algas marinas contienen entre el 70 y el 90 por ciento de agua en peso y la biomasa seca se compone principalmente de carbohidratos, fibras y proteínas, con pequeñas cantidades de lípidos (grasas) y diferentes minerales. Sin embargo, se sabe que las proporciones de los componentes químicos varían ampliamente entre las algas marinas, especialmente entre los tres grupos ampliamente diferentes (algas verdes, rojas y marrones) [8].

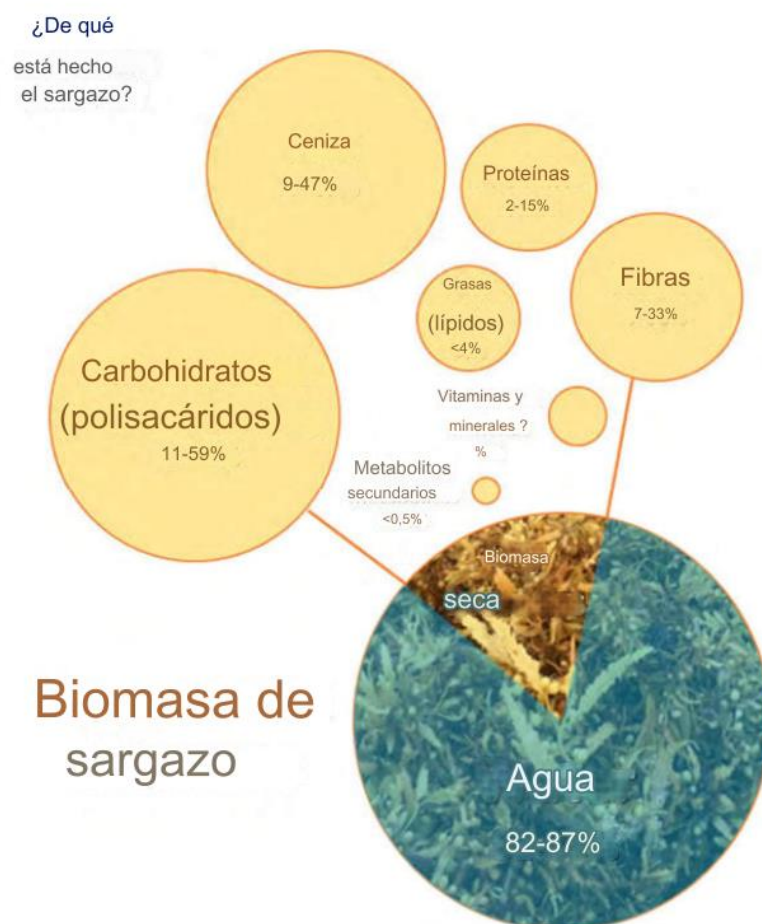
Los principales componentes del sargazo pelágico se muestran en la Figura 5. Si bien el agua representa entre el 82% y el 87% de la biomasa total, la biomasa seca comprende carbohidratos (principalmente como polisacáridos), cenizas (principalmente carbono que quedan después de calentar a temperaturas muy altas), fibra, proteínas (que comprenden aminoácidos), lípidos (que comprenden ácidos grasos), y pequeñas cantidades de vitaminas, minerales y metabolitos secundarios. Cada uno de estos componentes desempeñan

funciones específicas en el mantenimiento de las algas y tienen valor potencial para su uso en un gran número de aplicaciones, como se muestra en la Figura 6.

Observamos en la literatura que es probable que la composición química exacta y el valor de los nutrientes varíen según la composición de especies del sargazo pelágico, la ubicación, la época del año y las condiciones ambientales.

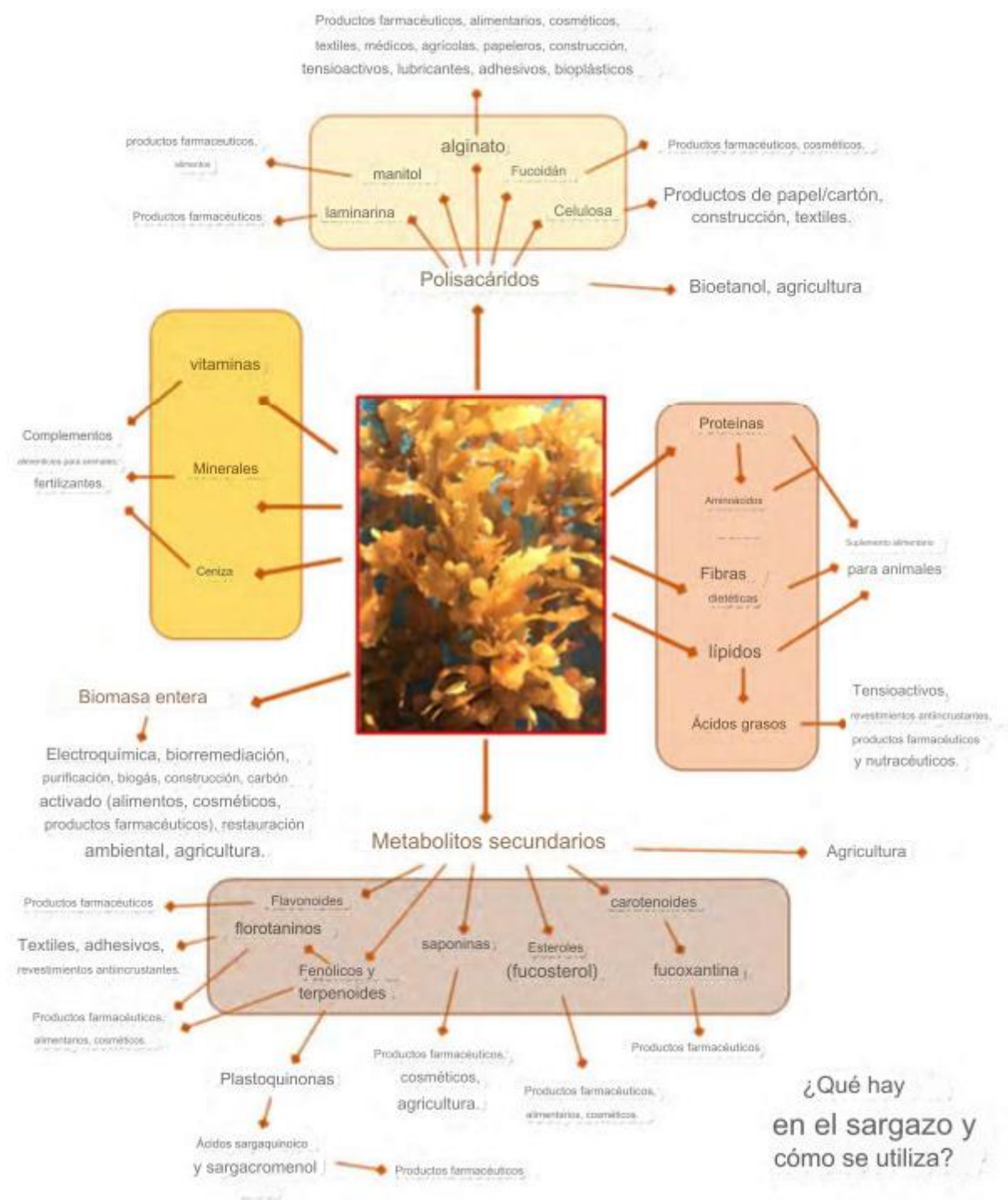
También es de destacar que el sargazo pelágico se compone de dos especies (tres morfotipos) que crecen y flotan juntos, de modo que la mayoría de los análisis químicos hasta la fecha se han realizado en muestras de "sargazo pelágico entero", que comprende esta mezcla de especies. Sin embargo, hay algunos estudios recientes que han separado los tres morfotipos de sargazo para examinar las diferencias en la composición entre ellos [9,10,11].

Figura 5. Representación de los principales constituyentes de la biomasa de sargazo pelágico.



Fuente: Guía para el uso del Sargassum, 2020 [5]

Figura 6. Diagrama para mostrar el perfil compositivo del sargazo y usos asociados.



Fuente: Guía para el uso del Sargassum, 2020 [5]

### 4.1.3. Componentes principales

Aquí vemos un resumen de los resultados de varios análisis bioquímicos de los principales componentes encontrados en Sargazo pelágicos. Como puede verse en la Tabla 1 de "Componentes principales", el contenido de proteína informado según diferentes estudios varía entre 2,2 y 15,4 por ciento del peso seco del sargazo pelágico, y se considera baja en comparación con otras algas pardas [12]. Se conoce que el contenido de proteínas es muy variable en las algas según la especie y comprenden una amplia gama de aminoácidos. Sin embargo, observamos que los métodos analíticos utilizados para determinar el contenido de proteínas están en debate, y se dice que el contenido de proteínas está sobreestimado en la mayoría de los casos. Se cree que el análisis de aminoácidos es una mejor opción que el análisis de proteínas totales porque reduce el problema de que los resultados se vean afectados por interferencias de otras sustancias [13]. Basándose en una única muestra de sargazo mixto, [9] determinaron que el contenido de aminoácidos era del 4,2 por ciento.

Se informa que el contenido de agua (humedad) del sargazo fresco es del 82 al 87 por ciento. Otros estudios reportan que el contenido de humedad del sargazo seco debe estar entre el 9 y el 14,3 por ciento. Se ha informado que el contenido de cenizas del sargazo oscila entre el 8,7 y el 46,9 por ciento, y el contenido de fibra entre 7,2 y 33,3 por ciento. Generalmente, un alto contenido de cenizas y fibra indica que la biomasa puede ser difícil de descomponer, lo que podría complicar la producción de biogás mediante digestión anaeróbica [9].

Los carbohidratos varían entre 11,3 y 58,7 por ciento del peso seco del sargazo pelágico. De nuevo, esta gran diferencia en los valores podría deberse a diferentes métodos de análisis. Carbohidratos en algas pardas como el sargazo están compuestos en gran parte por polisacáridos (azúcares complejos), presentes en las paredes celulares, y estos incluyen manitol, laminarina, alginato, fucoidan y celulosa. Según un estudio (ver tabla 1), se encontró que el sargazo contenía 10,3 por ciento de manitol en peso seco, 12,6 por ciento de laminarina, 15,6 por ciento de ácido algínico y 6,2 por ciento de fucoidan. En otro estudio, se encontró que el sargazo pelágico contenía 20 por ciento de alginatos y 20 por ciento de fucoidanos (ver Tabla 1). Otros polisacáridos sulfatados que se encuentran en el sargazo en cantidades menores incluyen aquellos compuestos por glucosa, fucosa, galactosa, xilosa, arabinosa, manosa y ramnosa, todas ellas inferiores al 4,5 por ciento del peso seco.

Tabla 1. Resumen de los análisis de composición de los componentes principales del sargazo pelágico

| Location*<br>(sampling year)      | Sample type**<br>(no. of samples)                                 | Protein<br>(%)                | Moisture<br>(%)                                     | Ash<br>(%) | Fibre<br>(%) | Carbohydrate<br>polysaccharides<br>(%)                                                                                        | Lipids (%) & Fatty<br>acids (% of TFA)***                                                                                 | C:N**** |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| British Virgin Islands<br>(2016)a | Mixed from beach<br>(N/A)                                         | 2.6                           | 12.68                                               | -          | -            | 10.25 mannitol<br>12.6 laminarin<br>15.55 alginic acid<br>6.19 fucoidan                                                       | -                                                                                                                         | -       |
| British Virgin Islands<br>(2016)b | Mixed +<br><i>Turbinaria</i> sp.<br>(1)                           | 3.3                           | -                                                   | 22.4       | -            | 11.3 total sugars<br>4.5 glucose<br>4.2 fucose<br>1.2 galactose<br>0.8 xylose<br>0.2 arabinose<br>0.2 mannose<br>0.1 rhamnose | -                                                                                                                         | -       |
| Turks & Caicos (2019)             | Mixed nearshore<br>(1)                                            | 4.19 (total %<br>amino acids) | 81.98<br>(as received<br>i.e. assumed<br>not dried) | 46.94      | 33.31        | 11.68                                                                                                                         | Lipids: 3.88<br>SFA: 36.71<br>(mainly palmitic acid)<br>PUFA: 29.3<br>(Omega-6 & 3)<br>MUFA: 19.33<br>(mainly oleic acid) | 16.08   |
| Martinique (2015)                 | Mixed fresh<br>onshore (2)                                        | -                             | -                                                   | -          | -            | -                                                                                                                             | -                                                                                                                         | 17-35   |
| Jamaica (2019)                    | Average of <i>S.</i><br><i>fluitans</i> & <i>S. natans</i><br>(1) | 2.2                           | 87<br>(assumed to<br>be wet wt)                     | -          | -            | 20 total<br>carbohydrates<br>20 alginates<br>20 fucoidan                                                                      | 0.27<br>(tot fat)                                                                                                         | -       |
| Brazil (1998)                     | <i>S. fluitans</i> at low<br>tide (N/A)                           | 12.8                          | -                                                   | -          | -            | -                                                                                                                             | -                                                                                                                         | -       |
| Nigeria (2012)a                   | Mixed (N/A)                                                       | 15.4                          | 9.0                                                 | 8.65       | 7.15         | 57.3                                                                                                                          | 2.5                                                                                                                       | 23      |
| Nigeria (2012)b                   | <i>S. fluitans</i> onshore<br>(N/A)                               | 6.55                          | 14.33                                               | 18.5       | 17           | 58.72                                                                                                                         | 1.9                                                                                                                       | -       |

Fuente: Guía para el uso del *Sargassum*, 2020 [5]

\*Referencia para cada ubicación: Islas Vírgenes Británicas (2016)a: Ocean Harvest Technology (2016); Islas Vírgenes Británicas (2016)b: de Vrije y López-Contreras (2016); Islas Turcas y Caicos: Milledge et al. (2020); Jamaica: Webber et al. (2019); Brasil: Ramos et al. (2000); Nigeria (2012)a: Oyesiku y Egunyomi (2014); Nigeria (2012)b: Solarin et al. (2014).

\*\*Tipo de muestra: Mixto: se refiere a una mezcla de *Sargassum natans* y *S. fluitans*.

\*\*\*Ácidos grasos: Ácidos grasos totales (AGT); Ácidos grasos saturados (AGS); Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI); Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI).

\*\*\*\*C:N se refiere a la relación carbono/nitrógeno

#### 4.1.4. Minerales y componentes nutricionales

El sargazo pelágico está compuesto por una amplia gama de macro, micronutrientes y minerales que muestran variación significativa (en varios órdenes de magnitud) en los valores reportados, como se resume en la Tabla 2 de "Composición mineral/nutricional" que se presenta aquí. Los valores de nitrógeno varían mucho entre los estudios, donde se han informado valores entre <1 y 7600 ppm. Los niveles más altos de nitrógeno se reportan en muestras de sargazo de St. Andrew en Barbados. Algunos estudios informaron nitrógeno como nitrato (NO<sub>3</sub>), donde los valores también varían mucho entre <1 y 2377 ppm. Fósforo varía entre 110 y 1.460 ppm y el fosfato (PO<sub>4</sub>) entre <1 y 51 ppm. El potasio también se encontró que varía mucho entre muestras de <1 a 69,359 ppm. El magnesio varía entre 30 y 18.241 ppm. El calcio es relativamente alto, entre 2.035 y 136.146 ppm. Asimismo, el sodio es alto, variando de 109 a 78.094 ppm. Se reportan cantidades muy variables de aluminio para la República Dominicana y para cloro en México. El hierro también es muy variable entre

los estudios de <3 a 5910 ppm. Zinc, cobre, el manganeso y el yodo se encontraron en niveles relativamente bajos.

Tabla 2. Resumen de análisis de composición de componentes minerales/nutricionales del sargazo pelágico.

| Location*<br>(sampling yr)       | Sample**<br>type<br>(# samples)                      | Mineral/nutritional components*** |                              |            |             |              |             |             |             |             |             |             |             |            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                                  |                                                      | N<br>(ppm)                        | P<br>(ppm)                   | K<br>(ppm) | Mg<br>(ppm) | Ca<br>(ppm)  | Fe<br>(ppm) | Zn<br>(ppm) | Cu<br>(ppm) | Mn<br>(ppm) | Al<br>(ppm) | Cl<br>(ppm) | Na<br>(ppm) | I<br>(ppm) |
| Mexican Caribbean<br>(2018-2019) | Mixed nearshore & offshore (63)                      | -                                 | 228-401                      | 1990-46002 | <2915-13662 | 23723-136146 | <3-11       | <5-17       | <6-540      | 40-139      | <140-517    | 747-53101   | -           | -          |
| British Virgin Islands (2016)    | Mixed from beach (N/A)                               | -                                 | -                            | -          | -           | -            | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | 85.3       |
| Martinique (2015)                | Mixed fresh onshore (2)                              | 9800 (Tot N)                      | 440-1460                     | 71.54      | 11820       | 38060        | 685-2120    | 11-14       | 3.14        | 33-49       | -           | -           | 34000-52230 | -          |
| Turks & Caicos (2019)            | Mixed nearshore (1)                                  | 171                               | 501                          | 69359      | 12053       | 70306        | 3811        | 5.81        | 2.51        | 30.15       | 37.5        | -           | -           | -          |
| Barbados (2015)                  | Mixed (1)                                            | 7600                              | 110                          | -          | 30          | -            | 200         | 5.5         | 9.9         | -           | -           | -           | 78094       | -          |
| Dominican Republic (2015)        | Mixed (12)                                           | -                                 | 761-1145                     | 2208-33602 | 10211-18241 | 96901-133400 | 2-655       | 13-21       | 2-12        | 16-32       | 303-4188    | -           | 3802-21068  | -          |
| Jamaica (2019)                   | Average of <i>S. fluitans</i> & <i>S. natans</i> (1) | 2377 (NO <sub>3</sub> )           | 51 (PO <sub>4</sub> )        | 348        | 1013        | 2035         | 894         | -           | 264         | -           | -           | -           | 109 (Na ii) | -          |
| Nigeria (2012)a                  | Mixed (N/A)                                          | 63.6                              | 965.0                        | 280.0      | 427.5       | -            | 87.0        | 0.5         | -           | -           | -           | -           | -           | 0.4        |
| Nigeria (2012)b                  | <i>S. fluitans</i> onshore (N/A)                     | 0.48 (NO <sub>3</sub> )           | 16.7 (PO <sub>4</sub> )      | 170        | -           | -            | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -          |
| Ghana (2015)                     | Mixed offshore & onshore (24)                        | 0.62-1.04                         | 0.83-1.55 (PO <sub>4</sub> ) | 0.72-2.48  | -           | -            | 1209-5910   | 16-100      | 22-36       | -           | -           | 22.5-1353.2 | -           | -          |

Fuente: Guía para el uso del Sargassum, 2020 [5]

\*Referencia para cada localidad: Caribe Mexicano: Rodríguez-Martínez et al. (2020); Islas Vírgenes Británicas: Tecnología de Cosecha Oceánica (2016); Martinica: IT2 y ADEME (2015); Islas Turcas y Caicos: Milledge et al. (2020); Barbados: Wilson-Howard (2015); República Dominicana: Fernández et al. (2017); Jamaica: Webber et al. (2019); Nigeria (2012)a: Oyesiku y Egunyomi (2014); Nigeria (2012)b: Solarin et al. (2014); Ghana: Addico y deGraft-Johnson (2016).

\*\*Tipo de muestra: Mixto: se refiere a una mezcla de *Sargassum natans* y *S. fluitans*.

\*\*\*Elementos: Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), aluminio (Al), cloro (Cl), sodio (Na), nitrógeno total (Tot N), nitrato (NO<sub>3</sub>), fosfato (PO<sub>4</sub>).

#### 4.1.5. Metales pesados

Aquí resumimos los informes de metales pesados encontrados en el sargazo pelágico (ver Composición de metales pesados Tabla 3). En general, se ha encontrado arsénico en altas concentraciones en todos los estudios, variando entre 11,5 y 172 ppm. Sin embargo, es importante hacer una distinción entre arsénico orgánico e inorgánico, donde este último se considera altamente tóxico. Muy pocos estudios han analizado la especiación del arsénico, para determinar la proporción de formas de arsénico tanto inorgánicas como orgánicas. A partir de una muestra de la Islas Vírgenes Británicas, se encontró que el 62 por ciento del contenido total de arsénico estaba en forma de sustancias inorgánicas [14]. Esto es similar al valor obtenido de una muestra de un solo sargazo. en Martinica, donde se encontró que el 70 por ciento del arsénico total era arsénico inorgánico [15]. En un estudio realizado en la década de 1970 sobre la población de sargazo del Golfo de México/Mar de los Sargazos, cuatro

muestras de sargazo pelágico se recolectaron en diferentes lugares (200 millas de las Bermudas, este del Golfo de México, Estrecho de Florida y frente a Key West en aguas profundas) y analizado en busca de arsénico, germanio y mercurio, incluido el análisis de especiación [16]. En tres de las muestras, se encontró que más del 82 por ciento del arsénico total era inorgánico, en forma de arsenito (As III) y arseniato (As V), y una muestra contenía 29 por ciento de arsénico inorgánico. Los niveles máximos permitidos de arsénico varían según el país y lo que se está probando (por ejemplo, suelo, agua, fertilizante, etc.).

Se informa que los niveles de cadmio, mercurio y plomo son mucho más altos en muestras recolectadas en Ghana en comparación con otras ubicaciones. Se cree que esto está relacionado con la intensa actividad minera e industrial en algunos de los lugares de muestreo de este estudio [17]. Estos elementos hasta donde sabemos, no se han evaluado en muestras de sargazo del Caribe.

Tabla 3. Resumen de análisis de composición de metales pesados en sargazo pelágico.

| Location*<br>(sampling year)                                     | Sample**<br>type<br>(# samples)          | Heavy metals***                |                  |                          |             |             |             |             |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                  |                                          | Total As<br>(ppm)              | Org. As<br>(ppm) | Inorg. As<br>(ppm)       | Cd<br>(ppm) | Hg<br>(ppm) | Pb<br>(ppm) | Cr<br>(ppm) |
| Mexican Caribbean<br>(2018-2019)                                 | Mixed nearshore & offshore<br>(63)       | 24-172<br>(median 80)          | -                | -                        | <2          | -           | <2-3        | <8          |
| British Virgin Islands (2016)                                    | Mixed from beach<br>(N/A)                | 45                             | 17.3             | 27.7                     | 0.169       | <0.005      | 0.32        | -           |
| Martinique, Guadeloupe (2015-2016)                               | Mixed fresh & dry onshore<br>(11)        | 11.50-100.8<br>(average 68.26) | -                | -                        | <0.2-1.02   | <0.1        | <5.3-1.2    | 5.2-10.6    |
| Turks & Caicos (2019)                                            | Mixed nearshore<br>(1)                   | 123.69                         | -                | -                        | 0.13        | 0.01        | 0.26        | <0.3        |
| Dominican Republic (2015)                                        | Mixed<br>(12)                            | 14-42                          | -                | -                        | 0.1-0.3     |             | 1-2         | 2-56        |
| Atlantic, east Gulf of Mexico, Florida Straits & Key West (1974) | <i>S. fluitans</i> mixed offshore<br>(4) | 4.2-19.5<br>(wet weight)       | -                | 1.9-19.5<br>(wet weight) | -           | <0.01-0.07  | -           | -           |
| Ghana (2015)                                                     | Mixed offshore & onshore<br>(24)         | 13-53.5                        | -                | -                        | 78-119      | 1-2         | 86-335      | -           |

Fuente: Guía para el uso del Sargassum, 2020 [5]

\*Referencia para cada localidad: Caribe Mexicano: Rodríguez-Martínez et al. (2020); Islas Vírgenes Británicas: Tecnología de Cosecha Oceánica (2016); Martinica y Guadalupe: IT2 y ADEME (2015) y Tirolien (2019); Islas Turcas y Caicos: Milledge et al. (2020); República Dominicana: Fernández et al. (2017); Atlántico, este del Golfo de México: Johnson y Braman (1975); Ghana: Addico y deGraft-Johnson (2016).

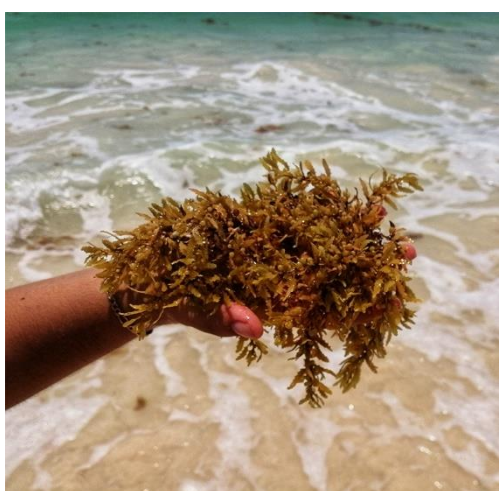
\*\*Tipo de muestra: Mixto: se refiere a una mezcla de *Sargassum natans* y *S. fluitans*.

\*\*\*Metales pesados: Arsénico total (Total As), arsénico orgánico (Org. As), arsénico inorgánico (Inorg. As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr).

## 4.2. Diferencia entre El Sargazo y la Posidonia Oceánica

El sargazo y la posidonia oceánica son dos formas de vegetación marina que se encuentran en los océanos, pero difieren en varias características clave. El sargazo, compuesto principalmente por algas flotantes del género *Sargassum*, forma grandes acumulaciones en la superficie del mar, conocidas como "mares de sargazo". Estas algas tienen flotadores llenos de gas que les permiten mantenerse a flote y a la deriva con las corrientes oceánicas. Aunque el sargazo proporciona refugio para varios organismos marinos, su acumulación en las costas puede tener efectos negativos, como la alteración de los ecosistemas costeros.

Figura 7. Sargazo Marino



Fuente: Blog Xcaret, 2019 [18]

Figura 8. Posidonia oceánica



Fuente: Fundación Aquae, 2021 [19]

Por otro lado, la posidonia oceánica es una planta marina endémica del Mar Mediterráneo que forma praderas submarinas en aguas poco profundas. A diferencia del sargazo, la posidonia oceánica tiene raíces que se adhieren al lecho marino y hojas largas que se extienden desde el sustrato hasta la superficie del agua. Estas praderas submarinas proporcionan hábitat y refugio para una amplia variedad de vida marina y desempeñan un papel crucial en la protección de las costas contra la erosión.

En resumen, el sargazo es un tipo de alga flotante que se encuentra en la superficie del océano, mientras que la posidonia oceánica es una planta marina que forma praderas submarinas. Aunque ambos tienen importancia ecológica, difieren en su estructura, ubicación y funciones dentro de los ecosistemas marinos.

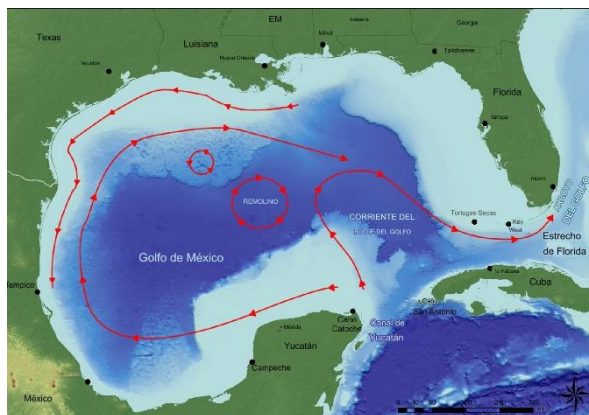
### 4.3. Procedencia del Sargazo en el Caribe

El sargazo es un tipo de alga marina que se encuentra principalmente en las aguas cálidas y tropicales de los océanos Atlántico y Pacífico. Su origen puede estar relacionado con varias fuentes, y su proliferación se debe a una combinación de factores naturales y humanos. Algunas fuentes principales de sargazo incluyen:

- Corrientes oceánicas

El sargazo, aunque puede encontrarse en diversas partes del mundo, tiene una fuerte asociación con las corrientes oceánicas, que desempeñan un papel crucial en su distribución y transporte a través de los océanos. Entre las corrientes oceánicas más relevantes en relación con el sargazo se encuentran la Corriente del Golfo y la Corriente del Atlántico Norte, ambas en el océano Atlántico.

Figura 9. Corriente marina Golfo de Mexico



Fuente: NOAA, 2022 [20]

Figura 10. Corriente marina Oceano Atlantico



Fuente: Research Gate, 2016 [21]

La Corriente del Golfo, una poderosa corriente oceánica cálida que fluye desde el Golfo de México hacia el noreste del Atlántico, es conocida por su papel en el transporte de grandes cantidades de sargazo. Esta corriente arrastra el sargazo desde su área de origen en el Atlántico central hacia el Caribe y las costas del sureste de Estados Unidos, México y Centroamérica.

La Corriente del Atlántico Norte también transporta sargazo desde el Atlántico central hacia el norte, contribuyendo a la formación de las grandes acumulaciones de sargazo en el Mar de los Sargazos, una región del Atlántico Norte caracterizada por la presencia masiva de estas algas flotantes. Desde allí, el sargazo puede ser arrastrado hacia el Caribe por otras corrientes oceánicas y sistemas de vientos.

Figura 11. Corriente marina Mar de los Sargazos



Fuente: Nola, 2021 [22]

La interacción entre estas corrientes oceánicas, junto con otros factores como los vientos, las mareas y las condiciones meteorológicas, determina la distribución y el movimiento del sargazo en el océano. Además, la estacionalidad y los patrones climáticos pueden influir en la intensidad y la ubicación de las floraciones de sargazo, con temporadas de mayor proliferación durante ciertos períodos del año.

- Desprendimiento de praderas de sargazo

En algunas áreas, como el Mar de los Sargazos en el Atlántico Norte, las praderas de sargazo pueden desprenderse debido a factores como las corrientes oceánicas, los cambios en la temperatura del agua o las condiciones meteorológicas extremas. Estos desprendimientos pueden generar grandes acumulaciones de sargazo flotante que son arrastradas por las corrientes.

- Descarga de nutrientes

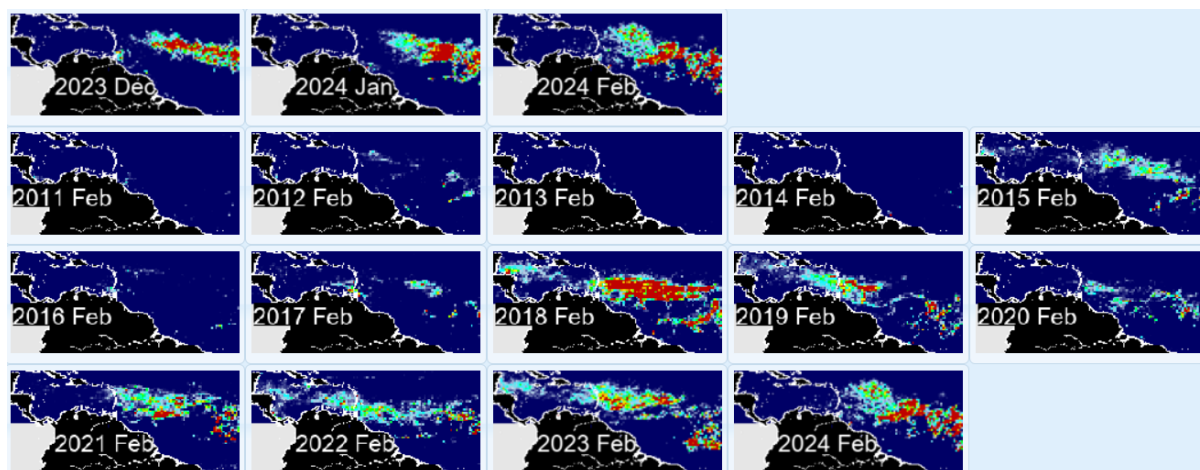
El sargazo se beneficia de la descarga de nutrientes en el agua, como el nitrógeno y el fósforo, que provienen de fuentes naturales como ríos, desembocaduras y aguas subterráneas, así como de fuentes antropogénicas como la escorrentía agrícola y la contaminación urbana.

- Cambios en las condiciones oceánicas: Los cambios en las condiciones oceánicas, como el aumento de la temperatura del agua y la acidificación oceánica, pueden favorecer el crecimiento y la proliferación del sargazo al proporcionar condiciones más favorables para su desarrollo y reproducción.

#### 4.4. Cifra estimada de llegada de Sargazo en el Caribe

El fenómeno del sargazo empezó a notarse en las costas caribeñas de manera significativa alrededor del año 2011 cuando las proliferaciones masivas empezaron a acumularse en las playas de muchos destinos de aguas cristalinas y arena blanca. México fue uno de los primeros países en reportarlo, pero este problema ambiental, letal para muchas especies y con efectos nocivos para la salud humana, afecta a casi toda la región del Caribe. [23]. En 2022, la cantidad de sargazo alcanzo cifras históricas en el Atlántico: en junio de ese año más de 24 millones de toneladas de esta marea parda se registraron en las costas del Caribe, desde Puerto Rico a Barbados [24]. No obstante, de acuerdo a los datos ofrecidos por el ministro de Medio Ambiente de República Dominicana, Miguel Ceara Hatton, un total estimado de 70 millones de toneladas de esta alga llegarían a las costas Caribeñas. [23].

Figura 12. Imágenes satelitales del Sargazo 2011-2024



Fuente: Optical Oceanography Laboratory [24]

## **4.5. Alginato**

El alginato es un polisacárido de algas que se encuentra en las paredes celulares de las células marrones de las algas marinas, que forman entre el 20-60% de la materia seca [25]. Las funciones biológicas de los alginatos en la planta incluyen prevenir la desecación, mantener la integridad de las células y proporcionar resistencia mecánica. Las funciones de intercambio iónico también son importantes.

En cuanto a su composición química el alginato es un copolímero de bloque de ácido  $\beta$ -D-manurónico con enlaces (1-4) y residuos de ácido  $\alpha$ -L-gulurónico, comúnmente conocidos como bloques M y G respectivamente. La proporción de estos componentes y su secuencia dentro del polímero depende a la cadena de la fuente de las algas. Además, se ha descubierto que diferentes partes de las mismas algas ofrecen diferentes composiciones de alginato dependiendo del tejido particular dentro del organismo. Las propiedades ofrecidas por los alginatos varían ampliamente y se pueden adecuar fácilmente para adaptarse a la aplicación deseada.

El alginato es una forma particularmente útil de hidrocoloide debido a su propiedad singular de gelificantes versátiles que lo convierten en un candidato ideal en una amplia gama de aplicaciones estabilizadoras y formadoras de gel. Por lo tanto, se encuentra comúnmente en numerosos productos comerciales que van desde alimentos procesados y tintes textiles hasta materiales de impresión dental y sistemas de administración de fármacos [26].

En ingeniería y construcción se ha informado y se han aprobado patentes para utilizar alginato para la estabilización in situ de suelos contaminados y no contaminados [27,28].

### **4.5.1. Alginato como aditivo para mampostería cruda**

El uso de alginato como aditivo estabilizante para suelos se ha documentado en algunos estudios, principalmente relacionados con trabajos de tierra y aplicaciones agrícolas donde el alginato se usa para aumentar la estabilidad de las migajas del suelo o para ayudar al crecimiento de las plantas [29, 30]. Sin embargo, al referirse específicamente al uso de algas o alginatos en productos de construcción, la investigación se ha limitado a unos pocos estudios. Minke [31], por ejemplo, se refiere al uso de algas como aditivo reductor de la densidad para mezclas de margas y Han et al. [32] también se refieren al uso de "fibra de algas" en un producto de construcción biocompuesto. Achenza y Fenu [33] describen el uso de un material fibroso similar obtenido de algas marinas en bloques de adobe sin cocer. Lee

y cols. [34] también han investigado el uso de una solución de "pegamento de algas" a base de agar en compuestos a base de arcilla para su uso en aplicaciones de construcción. El agar es un material similar al alginato, que se obtiene a partir de formas rojas de algas marinas (Rhodophyta) a diferencia de las algas marrones (Phaeophyceae) de las que se obtienen los alginatos. En todos estos estudios hay detalles limitados sobre los productos de algas utilizados y esto, por lo tanto, plantea dudas sobre su fuente, composición química y su función exacta dentro de los compuestos descritos.

#### **4.6. Tierra**

En el ámbito de la Ingeniería, suelo es el término aplicado a todo material de la corteza terrestre proveniente de la descomposición de rocas, constituido por elementos minerales y/o orgánicos, que dependen de la composición química y mineralógica de la roca de origen, de las características del relieve, de los diferentes climas y del tiempo de exposición a las intemperies. En la Arquitectura y Construcción con Tierra, denominación dada a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima, él recibe denominaciones diversas tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, pero, lo usual es el término "tierra". El término suelo es usado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptadas en otros campos de la Ingeniería, así como son los términos suelo cemento, suelo cal y suelo estabilizado, entre otros. [35].

La clasificación de los suelos, a través de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas es tratada de acuerdo con los fundamentos de la Ciencia de los Materiales, tanto en el campo de la Geología, de la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, de la Agronomía, como de la Vías Terrestres. Conforme el área que lo estudia, el suelo recibe designaciones diversas y puede ser denominado como:

- clasificación genética - suelo pedogenético, suelo saprolítico, suelo transportado;
- clasificación granulométrica - arenoso, arcilloso, limoso;
- clasificación pedológica - horizontes - superficial, subsuelo y roca madre.

Figura 13. Clasificación de Suelos

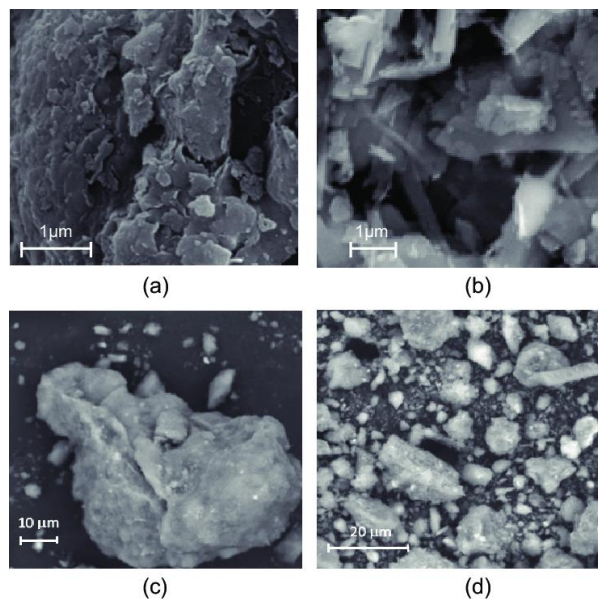


Fuente: Gensoil, 2015 [35]

Una distinción clave entre los limos y las arcillas es el tamaño y el tipo de estructura que generan. Los limos se unen haciendo estructuras alveolares mientras que las arcillas forman flóculos (grumos). Cuando las dos placas planas de arcilla se combinan con agua, se crea un efecto de ventosa que las une. En el ámbito de la construcción con tierra, el aglutinante real es el agua que permanece atrapada entre estas dos placas. Este fenómeno es fundamental, ya que el agua nunca se seca por completo debido a la presencia constante de un porcentaje de humedad relativa en el ambiente.

Es importante destacar que existen diversos tipos de arcillas, y su forma y tamaño influirá en cómo interactúan dentro del material. Existen arcillas expansivas con diversas geometrías, y su comportamiento difiere según su estructura y tamaño. Además, los limos y las arcillas son granos tan pequeños que solo se distinguen con un microscopio. Los limos oscilan entre 0,002 y 0,005 mm, mientras que las arcillas son de tamaño inferior a 0,002 mm.

Figura 14. Arcillas vistas desde microscopio



Fuente: Research Gate, 2014 [36]

## 4.7. Albañilería de tierra cruda

Como recurso abundante y fácilmente disponible, la tierra cruda ha desempeñado un papel vital en el desarrollo de la humanidad. Se ha utilizado como material de construcción durante miles de años; se han descubierto ejemplos de ladrillos secados al sol o "cocidos" que datan del año 7000 a. C. en Mesopotamia, Egipto y la India [37]. Al considerar el contexto global, las técnicas de construcción basadas en tierra, como la mazorca, el adobe

población mundial habita en edificios hechos de tierra [38]. Si bien estos diversos métodos de construcción se han utilizado ampliamente en la construcción durante siglos [39], en las sociedades occidentales la mayoría de estos materiales han sido reemplazados por formas contemporáneas de mampostería, como ladrillos cocidos y hormigón. En comparación con estos materiales, se considera que la tierra tiene una serie de desventajas, como una resistencia mecánica y una durabilidad relativamente bajas [40]. Sin embargo, la tierra cruda sigue siendo un material barato, abundante y ecológico y, cuando se detalla adecuadamente, se puede utilizar para crear formas arquitectónicas hermosas y versátiles.

Figura 15. Bloques de Tierra



Fuente: Green Spec, 2019 [41]

En el contexto del Reino Unido, los materiales arcillosos cocidos dominan actualmente el mercado de mampostería. Si bien la construcción con tierra era común en el Reino Unido y Escocia hasta el siglo XVIII, esta técnica de construcción tradicional se consideraba intensiva en mano de obra y experimentó un declive como resultado de la creciente popularidad de la piedra y la madera [42]. Aunque la mayoría de los edificios de tierra que existen hoy en día están ubicados en países en desarrollo, en las últimas décadas se ha presenciado un resurgimiento de técnicas de construcción de tierra más tradicionales.

particularmente en Europa, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda [43], y ha habido un número cada vez mayor de estudios que analizan el potencial de la tierra sin cocer como material de construcción contemporáneo. Esto se debe principalmente al creciente

reconocimiento de las credenciales ambientales de la Tierra, así como de sus beneficios higrotérmicos y acústicos asociados. Se estima que actualmente existen alrededor de 500.000 edificios de tierra en el Reino Unido [42] y los métodos modernos de construcción con tierra apisonada y bloques de tierra comprimida (CEB), un descendiente de los bloques de adobe tradicionales, se están volviendo particularmente populares. Sin embargo, el principal obstáculo para el desarrollo de este tipo de construcción es la capacidad de carga relativamente baja de la tierra sin cocer, que puede limitar su aplicación útil. Por lo tanto, existe un incentivo renovado para desarrollar estrategias para mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad de los materiales terrestres.

#### **4.7.1. Técnicas de estabilización**

El principal método para mejorar las propiedades mecánicas de la tierra cruda es mediante la estabilización. Para los ladrillos sin cocer, que son el foco principal de este estudio, el método de estabilización más común es mediante el uso de aditivos como cemento y cal, y estos están bien documentados en la literatura publicada. En el caso de la estabilización con cemento, generalmente se acepta que la inclusión de cemento puede conducir a mejoras significativas en la resistencia a la compresión y la resistencia a la humedad [44,45]. Sin embargo, el uso de cemento generalmente tiene un costo ambiental debido a la intensidad energética y la alta carga de CO<sub>2</sub> asociada con su fabricación [42, 46, 47]. Aunque se ha recomendado la cal como una posible alternativa al cemento debido a su menor impacto ambiental, existe un debate en curso sobre si este es realmente el caso. Por ejemplo, según Hammond y Jones [48], se demostró que la energía total incorporada de la cal era mayor que la del cemento. Además, se requieren mayores dosis de cal para lograr los mismos resultados que se observan con cantidades más pequeñas de cemento y esto disminuye aún más sus beneficios ecológicos. Por ello, cada vez hay más esfuerzos por encontrar alternativas al cemento y la cal que ofrezcan soluciones más respetuosas con el medio ambiente para mejorar las propiedades de la tierra cruda.

#### **4.7.2. Materiales orgánicos y biopolímeros como estabilizadores.**

Históricamente se han utilizado diversos materiales orgánicos en la producción de edificios de tierra con la mayoría de las técnicas y se remontan a la época romana, donde las propiedades del suelo se modificaban utilizando productos naturales disponibles localmente. Estos incluyen productos de origen vegetal como aceites vegetales [49, 50], diversas gomas

y resinas vegetales [51] y melaza [52]. Productos animales como excrementos, orina, sangre, leche y pegamentos animales también se han utilizado con éxito para mejorar las propiedades de la tierra cruda [51, 53, 54]. Aunque la mayoría de estas técnicas tradicionales rara vez se utilizan debido al desarrollo de nuevos productos sintéticos, el principio detrás del uso de aditivos renovables de base biológica ha estado recibiendo una atención renovada en un esfuerzo por encontrar alternativas a los sistemas basados en cemento. En particular, se ha reconocido que el uso de biopolímeros, procedentes de cultivos renovables no alimentarios, es un constituyente potencial para materiales de construcción. Como discutido por Plank [55] y Vieira et al. [56], los biopolímeros como el lignosulfonato, la caseína, los derivados del almidón y la celulosa y varios polisacáridos solubles en agua se pueden utilizar como aditivos para materiales de mampostería y para modificar las propiedades de productos como el hormigón, el cemento y los morteros. Eires et al. [53] también demuestra que se ha utilizado una amplia gama de biopolímeros específicamente para modificar las propiedades de materiales a base de arcilla, con ejemplos que van desde el aceite de linaza hasta el estiércol de vaca. Por lo tanto, si bien existe un claro potencial para que los biopolímeros naturales se utilicen como estabilizadores alternativos para materiales terrestres, se requiere más investigación sobre los tipos apropiados y la naturaleza de la interacción arcilla/biopolímero.

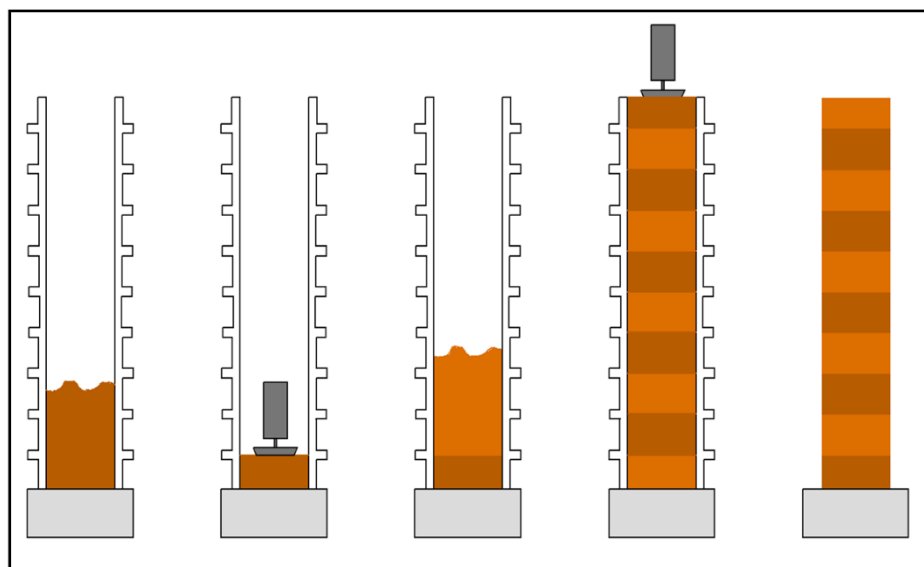
#### **4.8. Resistencia a la compresión del material terrestre**

Existen muchas técnicas diferentes para utilizar la tierra como materia prima. El adobe es un material de construcción natural elaborado a partir de arena, arcilla y agua, con algún tipo de material fibroso u orgánico (palos, paja, estiércol), al que se le da forma de ladrillo mediante marcos y se seca al sol. Es similar a la mazorca y al adobe. Los ladrillos de adobe son unidades de arcilla sin cocer secadas al sol, cuya estabilidad dimensional y control de las fisuras por contracción se pueden lograr añadiendo fibras orgánicas. De forma similar a los ladrillos, pero de mayor tamaño, se pueden estabilizar con cal o cemento. La arcilla es el principal aglutinante del adobe tradicional. La tierra utilizada en la producción tradicional de adobe debe contener aproximadamente un 30% de arcilla. Para obtener el material seco final, los bloques deben curarse durante 15 a 21 días antes de su utilización en un sitio protegido del sol y la lluvia.

La tierra apisonada es un suelo arcilloso (tierra) compactado formando un encofrado. La composición de la tierra varía mucho pero no contiene ningún componente orgánico y sí suficiente arcilla, que actúa como aglutinante entre los granos, una mezcla de limo, arena, grava y piedras de unos pocos centímetros de diámetro. La compactación se realiza utilizando

un contenido de agua considerado óptimo, es decir, que proporcione la mayor densidad seca para una energía de compactación fija. En el caso de la tierra apisonada tradicional, el único aglutinante es la arcilla, a la que se denomina “tierra apisonada no estabilizada”. La tierra apisonada moderna apareció en los países occidentales después de la industrialización, cuando se añadieron otros aglomerantes, como el cemento, la cal hidráulica o la cal cálcica [52]. Se les llama “tierra apisonada estabilizada”. La principal ventaja de estabilizar el tapial es aumentar su durabilidad (respecto al ataque del agua) y su rendimiento mecánico (resistencia a la compresión).

Figura 16. Tierra apisonada estabilizada



Fuente: MDPI, 2020 [57]

Jiménez Delgado y Cañas Guerrero [53] muestran resistencias al aplastamiento por compresión entre 0,6 y 2,25 MPa para suelos no estabilizados. Según normas españolas [54]. Morel et al. [55] resume estudios previos centrados en el comportamiento mecánico de las características de tierra apisonada no estabilizada, mostrando que los bloques de tierra comprimida que se han fabricado utilizando una prensa manual presentan resistencias a la compresión en un rango de 1,5 a 3 MPa y densidades de 1763 a 2160 kg/m<sup>3</sup>. Se pueden lograr resistencias más altas usando prensas hidráulicas y/o mayores contenidos de cemento, pero las resistencias a la compresión en el rango de 2 a 3 MPa son las más típicas. Bui et al. [52] realizaron mediciones in situ en una casa para validar los resultados de laboratorio de tierra apisonada erigida cerca de Thiers (Francia) y elegida como objeto de estudio. Las densidades obtenidas fueron 1980 kg/m<sup>3</sup> y los ensayos de compresión 1,65 MPa. Se añaden estabilizadores como cal, cemento o betón para mejorar propiedades particulares [58]. En países como Papúa Nueva Guinea los suelos arcillosos se estabilizan con materiales nativos:

varios porcentajes de ceniza volcánica (VA), cal natural finamente molida (L), cemento y sus combinaciones. La influencia de los estabilizadores y sus combinaciones son evaluadas por Hossain et al. [58]. La resistencia a la compresión varía en este caso entre 0,39 y 3,1 MPa. Según Ngowi [59], la resistencia de los ladrillos estabilizados con cemento es un 70% mayor que la de los ladrillos estabilizados con cal, ya que la resistencia del mortero de cal es sólo un tercio de la del mortero de cemento. Atzeni et al. [60] agregaron estabilizadores como cementos hidráulicos, cal hidratada y polímeros (látex acrílico y una solución acuosa de naftaleno-sulfonato), aumentando así la resistencia a la compresión de 0,9 (no estabilizado) a 5,1 (impregnado con polímero). Bahar et al. [61] mejoraron a 4,5 MPa con una adición de 10% de cemento y hasta 6,5 MPa con una adición de 20% de cemento como estabilizador.

La normativa española [54] indica valores máximos de 3,6 MPa con estabilización con cal y 6,6 MPa con estabilización con Portland. Los tamaños de las muestras varían ampliamente desde cubos de 5x5x5cm, cubos de 10cm, cubos de 15cm hasta prismáticos de 100x100x30 cm o 30x30x60 cm.

## **5. Estudios de Bloques hechos con Tierra y Algas marinas**

### **5.1. Compuesto a base de arcilla estabilizado con polímero y fibra naturales (C. Galán-Marín)**

#### **5.1.1. Materiales utilizados**

- Tierra
- Fibra (Lana de animal sin procesar)
- Alginato
- Lignum
- Agua

El suelo estudiado fue suministrado por un fabricante de ladrillos, ERROL Brick Company, con sede en Perth, Escocia, Reino Unido. Las características principales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Características del Suelo (Tierra)

| Physical characteristics                               |              | Procedure                                    |
|--------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|
| Composition %                                          |              | Sample dried at 110 °C                       |
| Silica (SiO <sub>2</sub> )                             |              | 54.70                                        |
| Titania (TiO <sub>2</sub> )                            |              | 0.97                                         |
| Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )              |              | 19.70                                        |
| Ferric oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )         |              | 8.63                                         |
| Lime (CaO)                                             |              | 0.93                                         |
| Magnesia (MgO)                                         |              | 3.55                                         |
| Potash (K <sub>2</sub> O)                              |              | 3.90                                         |
| Soda (Na <sub>2</sub> O)                               |              | 1.78                                         |
| Phosphorus pentoxide (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |              | 0.17                                         |
| Chromium sesquioxide (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |              | 0.02                                         |
| Manganic oxide (Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )       |              | 0.12                                         |
| Zirconia (ZrO <sub>2</sub> )                           |              | 0.03                                         |
| Zinc oxide (ZnO)                                       |              | 0.03                                         |
| Barium oxide                                           |              | 0.08                                         |
| Loss on ignition at 1025 °C                            |              | 5.04                                         |
| Sand content                                           | 22.50%       | Bouyoucos Densimeter                         |
| Silt content                                           | 45.00%       | Bouyoucos Densimeter                         |
| Clay content                                           | 32.00%       | Bouyoucos Densimeter                         |
| Classification                                         | Clay         | International Society of Soil Science (ISSS) |
| <i>Atterberg limits</i>                                |              |                                              |
| Liquid limit                                           | 34.8%        | EN 103103 and EN 103104                      |
| Plastic limit                                          | 19.1%        | EN 103103 and EN 103104                      |
| Plasticity                                             | 15.7%        | EN 103103 and EN 103104                      |
| <i>Chemical analysis</i>                               |              |                                              |
| Organic material content                               | 0%           | UNE 103-204 + Err                            |
| Soluble salt content                                   | 0.43%        | NLT 114                                      |
| Soluble sulphate content (SO <sub>3</sub> )            | 0%           | UNE 103-201 + Err                            |
| Lime content (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)    | 0%           | NLT 115                                      |
| Hydrogen's potential (pH)                              | 8.0          | pHmeter, electrometry                        |
| Carbonate content (CaCO <sub>3</sub> )                 | 12.4%        | UNE 103-200                                  |
| Soluble chloride content (Cl <sup>-</sup> )            | 0.027%       | UNE-EN 1744-1                                |
| Electric conductivity                                  | 554.00 μS/cm | Conductimeter 25 °C, saturated plaster       |
| Total dissolved solids                                 | 355.00 mg/l  | Arithmetic calculus                          |

Fuente: Construction and Building Materials 24 (2010) 1462–1468

En esta investigación, las muestras se prepararon con la adición de una pequeña cantidad (0,5-0,25%) de fibra animal, en este caso lana cruda y sin procesar. Procedía directamente de ovejas escocesas y se utilizaba sin tratar y directamente de la piel del animal. Esto significó que la lana no tenía aditivos como, por ejemplo, detergentes.

Para mejorar la trabajabilidad del suelo se añadió Lignum, una sustancia resinosa parecida al aceite extraída de la corteza de los árboles del género Guaiacum, también llamado guayacán, recomendado y suministrado por el fabricante de ladrillos.

La siguiente tabla muestra las proporciones del material utilizado en peso para la fabricación del bloque.

Tabla 5. Proporciones utilizadas (en peso)

| Proportion | Soil           | Alginate (%) | Lignum (%) | Wool (%) | Water (%) |
|------------|----------------|--------------|------------|----------|-----------|
| 01ERROL    | 80.0%<br>ERROL | -            | 0.5        | -        | 19.5      |
| 02ERROL    | 79.5%<br>ERROL | 19.75        | 0.5        | -        | 0.25      |
| 03ERROL    | 79.5%<br>ERROL | -            | 0.5        | 0.25     | 19.75     |
| 04ERROL    | 79.0%<br>ERROL | 19.5         | 0.5        | 0.50     | 0.50      |
| 05ERROL    | 79.5%<br>ERROL | 19.5         | 0.5        | 0.25     | 0.25      |

Fuente: Construction and Building Materials 24 (2010) 1462–1468

Como se puede observar en la Tabla 5 para todas las muestras se agrego casi el mismo porcentaje de tierra, el mismo porcentaje de Lignum y diferentes porcentajes de agua, con diferencia de que en la muestra 01ERROL no se añadió Alginato ni tampoco Fibra animal. En la muestra 02ERROL no se agregó Fibra animal y En la muestra 03ERROL no se agrego Alginato.

A continuación, en la Tabla 6 podemos ver los resultados de las pruebas de densidad y mecánicas de las cinco diferentes mezclas preparadas.

Tabla 6. Resultados de prueba de densidad y mecánica

|         | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Compressive strength (MPa) | Flexural strength (MPa) |
|---------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 01ERROL | 1.82                         | 2.23                       | 1.12                    |
| 02ERROL | 1.84                         | 3.77                       | 1.06                    |
| 03ERROL | 1.80                         | 3.05                       | 1.10                    |
| 04ERROL | 1.79                         | 4.37                       | 1.05                    |
| 05ERROL | 1.79                         | 4.44                       | 1.45                    |

Fuente: Construction and Building Materials 24 (2010) 1462–1468

Como se puede observar en la Tabla 6 las pruebas que dan mejores resultados de fuerza de compresión son las muestras 04ERROL y 05ERROL que son las que incorporan en su composición todos los materiales utilizados, es decir, Tierra, Alginato, Lignum, Fibra animal y Agua. La prueba que da mejor resultado para la fuerza de flexión es la muestra 05ERROL la cual tiene menos cantidad de agua en su composición y una pequeña cantidad insignificante menos de tierra en comparación con la muestra 04ERROL. Las demás muestras dan valores mas bajo en la fuerza de compresión y flexión debido a que no están incorporados todos los materiales en la misma. Mas adelante se explican los resultados con mas detalles.

### **5.1.2. Preparación de muestras y procedimientos de prueba.**

La preparación de las muestras se realizó siguiendo las normas hispano-europeas UNE-EN 196-1 2005 [39], UNE-EN 1015-2, [40] y UNE-EN 12190 1998 [62]. Según estas normas se utilizó una mezcladora mecánica para preparar el material. El contenido de humedad óptimo se determinó experimentalmente para el suelo mediante la prueba de Proctor; compactación estándar.

Las mezclas de suelo presentaron una consistencia muy seca y difícil de trabajar, relacionado con el muy alto índice de plasticidad del suelo ERROL (Tabla 4) especialmente en el valor límite líquido.

Se utilizaron moldes de acero estándar para probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm. El vertido y colocación de la mezcla se realizó según normas y se realizó compactación mecánica. Todas las muestras se colocaron en una estufa a 50 C para secar durante 24 h antes de desmoldar. De acuerdo a las normas no fue necesario tiempo de curado en cámara húmeda debido a la ausencia de cemento en las mezclas.

Para probar la influencia de la suma de los diferentes elementos, se nombraron y enumeraron las cinco proporciones diferentes utilizadas. El número de ejemplares fabricados para cada relación fue siete. Los ensayos anteriores se realizaron en suelo natural sin adición (solo agua y Lignum), más fibra y/alginato y con dos proporciones diferentes de fibra, como se muestra en la Tabla 5.

Se ensayaron las propiedades mecánicas de las mezclas fundidas y endurecidas. Los ensayos desarrollados fueron densidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión.

La resistencia a flexión se determinó mediante el ensayo de tres puntos sobre las probetas, según las especificaciones de la norma española EN 83-821-925 [42] para la determinación de la resistencia a flexión de morteros utilizados para vaciados y revestimientos de mortero, a falta de normas EN para este tipo de morteros.

El aparato utilizado fue un tester Codein S.L., MCO-30/139 (Figura 27). Según procedimientos estándar, aplica una carga de hasta  $10 \text{ MPa} \pm 1,0\%$ . De acuerdo con las especificaciones, la velocidad de carga utilizada ha sido de  $0,5 \text{ MPa/s}$ . La resistencia a la compresión se determinó en ambas mitades de cada probeta prismática, luego de romperlas en un ensayo de resistencia a flexión de tres puntos. Este ensayo cumple con la norma española EN 83-821-925 para la determinación de resistencias a la compresión en morteros utilizados para vaciados y revestimientos de mortero, ya sean de cal o conglomerado hidráulico, a falta de normas UNE específicas para este tipo de morteros.

### 5.1.3. Gráficos de Curvas de tensión/deformación

A continuación, podemos ver los valores obtenidos de las gráficas de Curvas de tensión-deformación para ensayos de flexión en tres puntos de las cinco mezclas diferentes preparadas con suelo ERROL.

Figura 17. Fuerza de flexión. ERROL 01

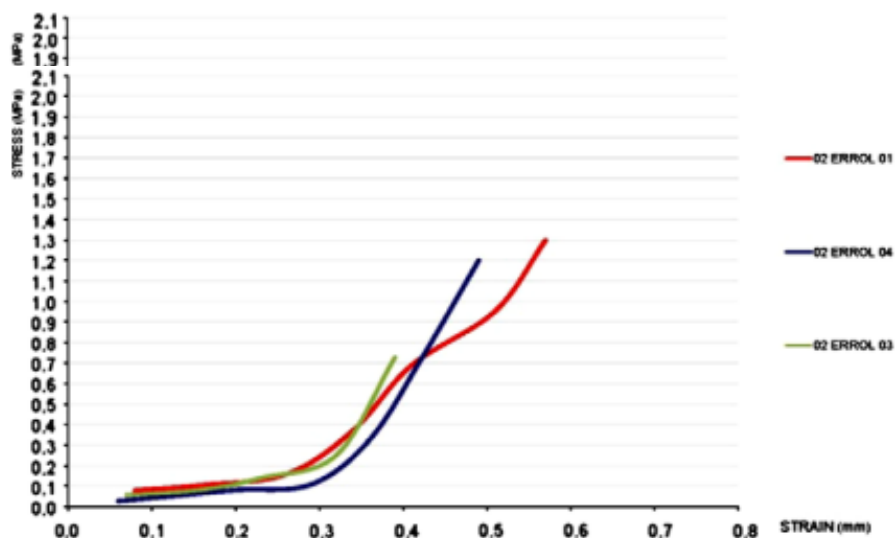


Figura 18. Fuerza de flexión. ERROL 02

Figura 19. Fuerza de flexión. ERROL 03

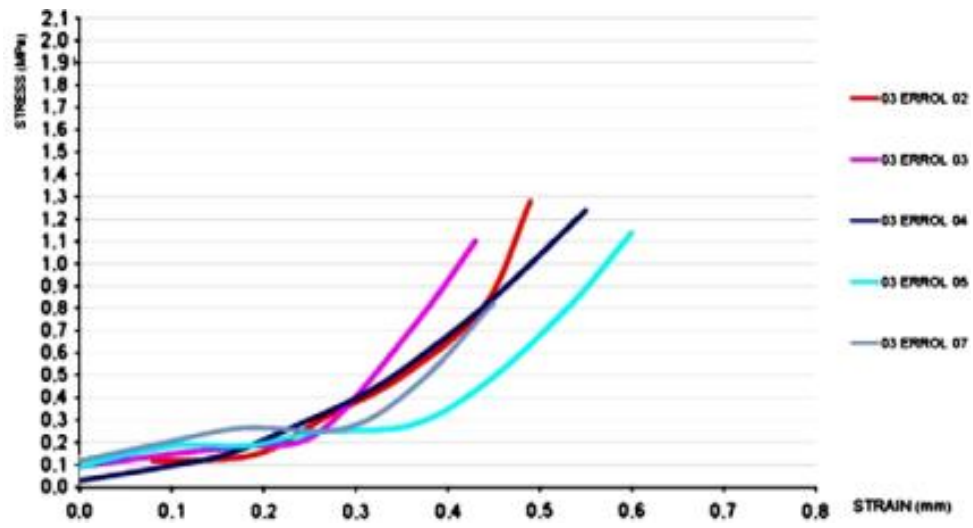


Figura 20. Fuerza de flexión. ERROL 04

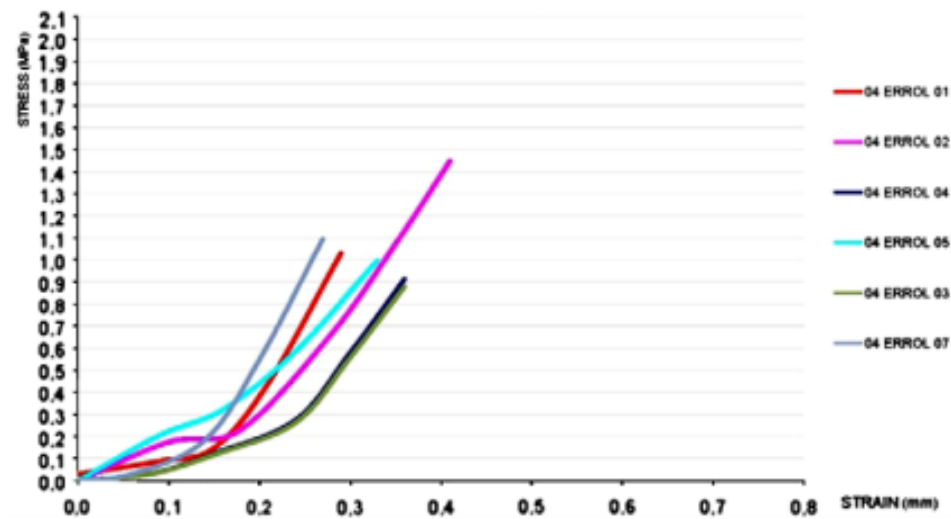
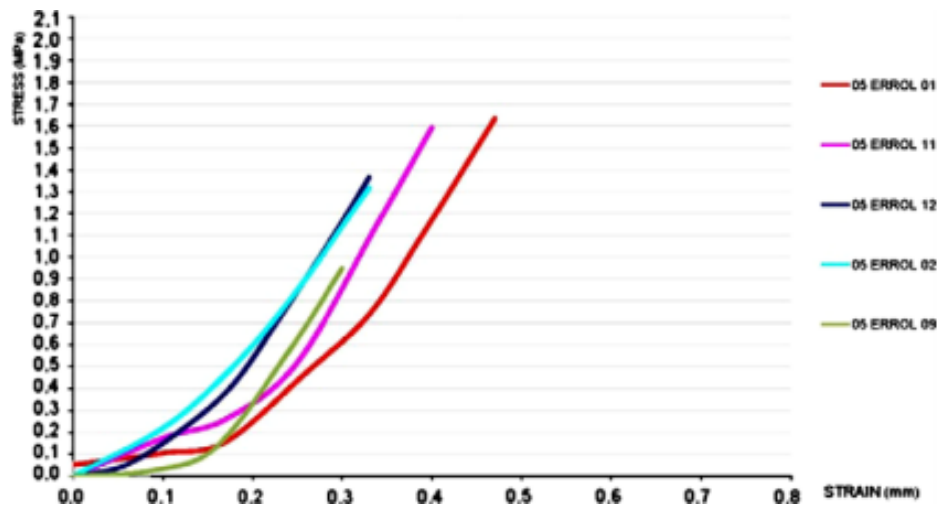


Figura 21. Fuerza de flexión. ERROL 05



A continuación, podemos ver los valores obtenidos de las gráficas de Curvas tensión-deformación para ensayos de compresión de las cinco mezclas diferentes preparadas con suelo ERROL.

Figura 22. Fuerza de compresión. ERROL 01

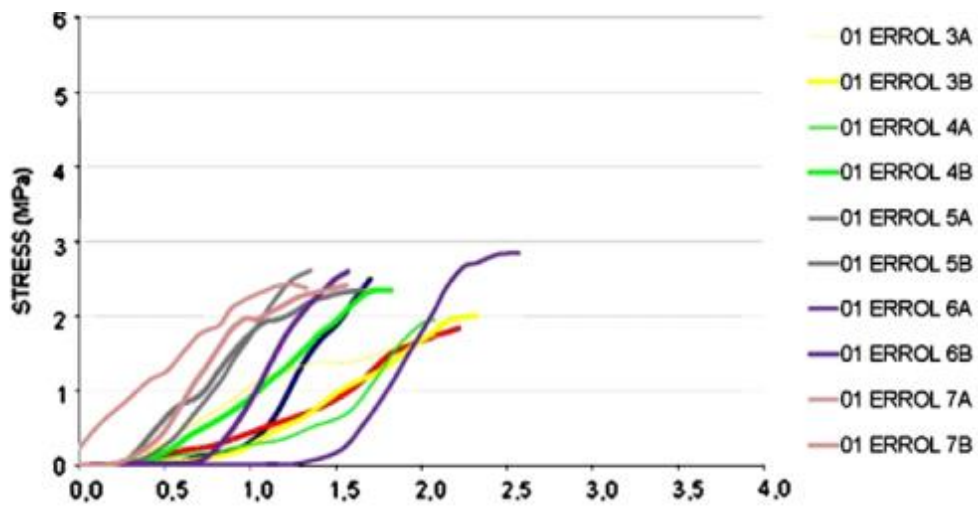


Figura 23. Fuerza de compresión. ERROL 02

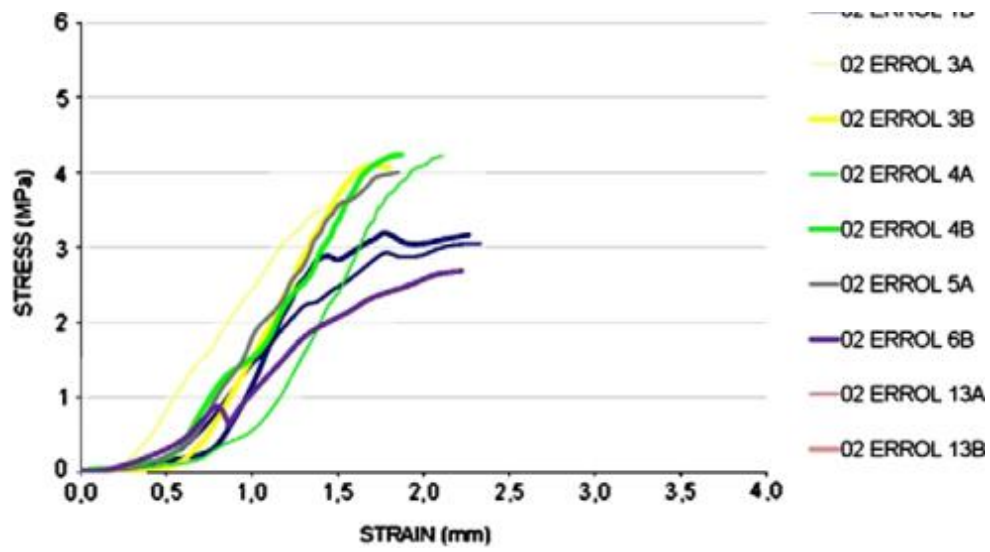


Figura 24. Fuerza de compresión. ERROL 03

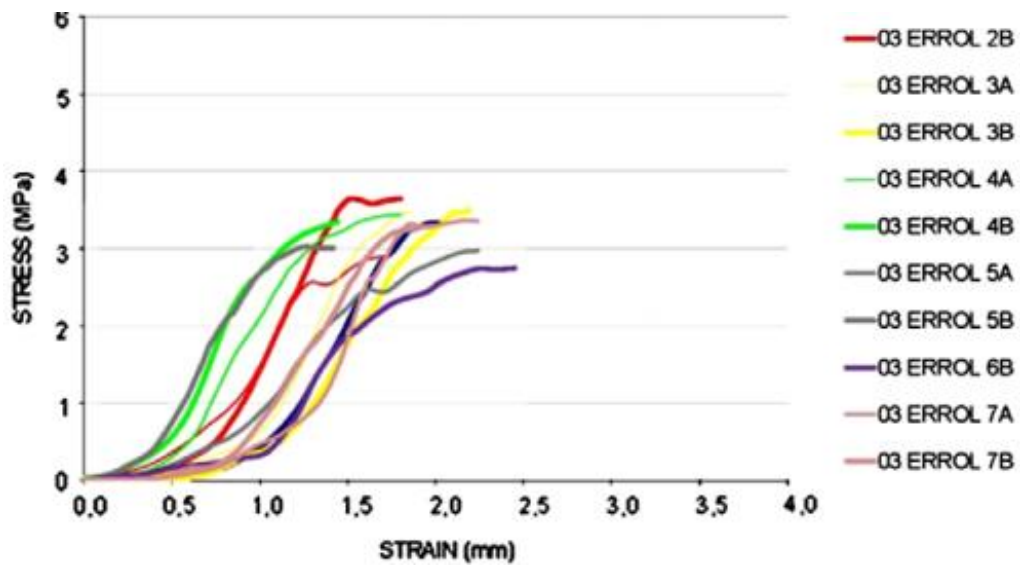


Figura 25. Fuerza de compresión. ERROL 04

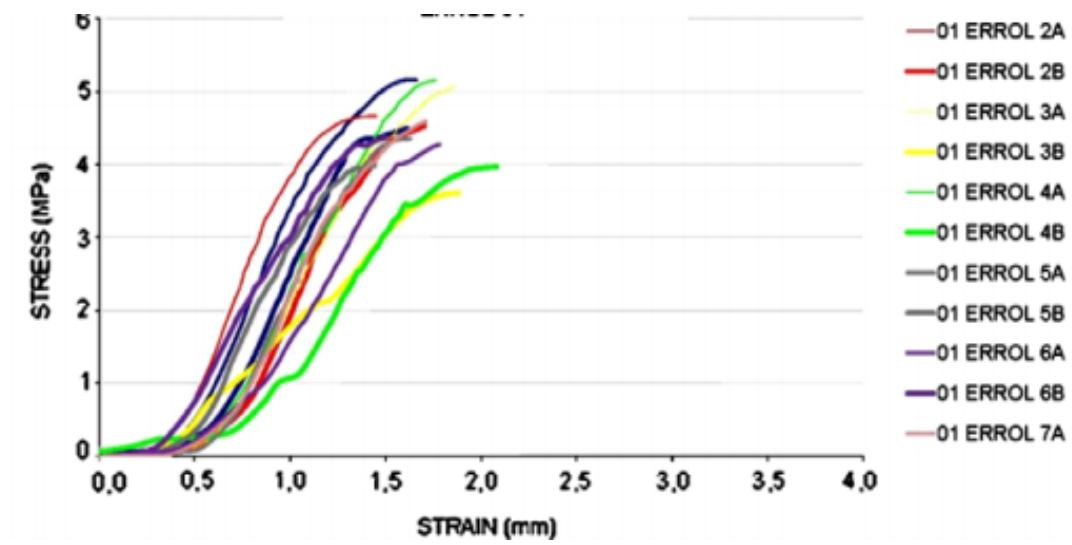


Figura 26. Fuerza de compresión. ERROL 05

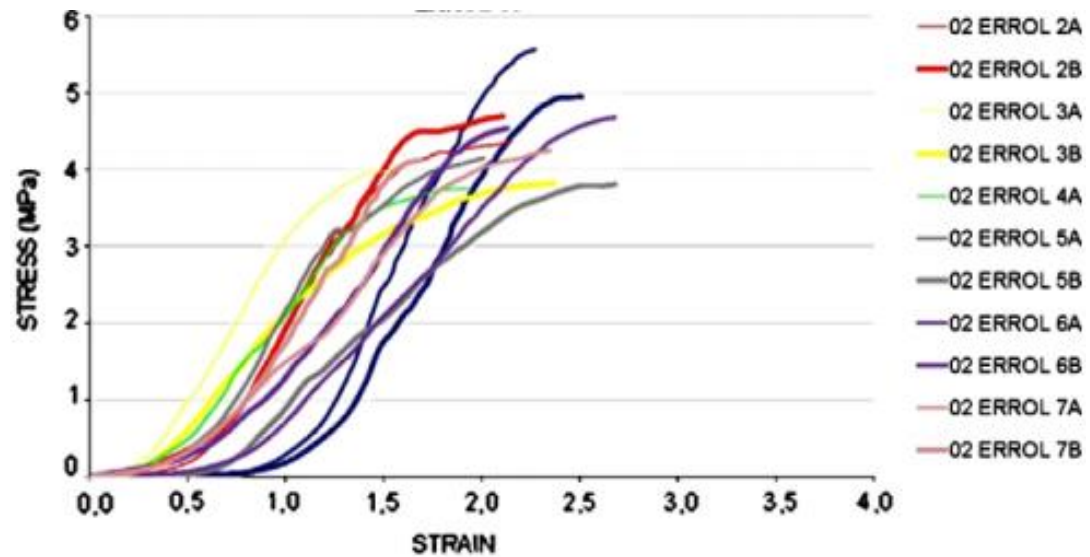


Figura 27. Muestra bajo prueba de compresión.



Fuente: Construction and Building Materials 24 (2010) 1462–1468

#### 5.1.4. Resultados

La Tabla 6 muestra los valores promedio de los resultados para la prueba de compresión y flexión de tres puntos. Cada valor representa el promedio de un total de 7 a 14 especímenes. El número y serie de especímenes fue de acuerdo con estos estándares y dependiendo del número de diferentes mezclas (proporciones) ensayadas, con un mínimo de cinco especímenes por lote. Uno de los efectos significativos de la inclusión de fibras naturales en la matriz del suelo fue la prevención de grietas visibles por contracción debido al proceso de secado. El modo de falla del espécimen hecho de suelo natural fue muy rápido y casi sin previo aviso. Por el contrario, en el caso del material compuesto, después de alcanzar la carga última, las muestras todavía se deformaban y se podían ver finas grietas en la superficie de las muestras. Esto fue lo mismo para todo el material de suelo compuesto.

Las curvas tensión-deformación de compresión para ensayos de flexión y compresión realizados en muestras prismáticas de 4 x 4 cm se dan en las Figuras. 17-26. Cada gráfico representa los resultados de todas las muestras y muestra la homogeneidad de los resultados. Se puede ver en las Figuras. 17-21 que la adición de lana más estabilización con alginato aumenta la pendiente de la curva y, por tanto, el módulo de Young del material.

La relación tensión-deformación es lineal para todas las series de ensayos hasta la carga máxima. Para el suelo natural, la falla final ocurre inmediatamente después de la carga final. Sin embargo, en pruebas realizadas en suelos con fibras naturales se puede observar un ablandamiento del trabajo. Esto puede explicarse considerando la redistribución de fuerzas internas desde la matriz del suelo a las fibras de refuerzo. Después del fallo final, el compuesto suelo-fibra no se desintegró completamente, a diferencia de las muestras de suelo naturales. También debe mencionarse que las fibras retienen la matriz del suelo y juntas no se produjo ninguna ruptura de las fibras, aunque se observó una pérdida de unión de las fibras. La densidad sigue siendo muy similar en todas las pruebas. El suelo desnudo tiene la mayor densidad. Al añadir alginato o lana la densidad disminuye pero no de forma significativa, siempre entre 1,79 y 1,82 g/cm<sup>3</sup>.

Las pruebas demostraron que la adición de alginato aumenta la resistencia a la compresión de 2,23 a 3,77 MPa en un 69%. La adición de lana sin alginato (tal vez debido a su difícil trabajabilidad) no mejora tanto el rendimiento; agregar solo lana también aumenta la resistencia a la compresión en un 37%, de 2,23 a 3,05. Pero la adición de lana y alginato mejora significativamente (duplica) la resistencia del suelo ERROL hasta 4,44 MPa. Se obtuvieron mejores resultados con menor cantidad de lana. Los resultados de las pruebas han demostrado que para el suelo ERROL, la proporción óptima lana/suelo necesaria para producir una matriz de suelo de alta resistencia es sólo del 0,25%. Como era de esperar, la adición de alginato o lana por sí sola no mejora en absoluto la resistencia a la flexión. Mezclar lana + alginato aumenta un 30% su resistencia a la flexión sólo en el caso de un 25% de lana pero no tan significativamente como con la resistencia a la compresión.

## 5.2. El desarrollo de ladrillos de tierra cruda utilizando biopolímeros de algas (C. Dove)

### 5.2.1. Materiales utilizados

- Tierra

El suelo (tierra) utilizada para producir las muestras en este estudio fue suministrado por Ibstock Ltd, un fabricante local de ladrillos. Las propiedades del suelo se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación del Suelo

|                                      |              |           |                                               |                                                  |
|--------------------------------------|--------------|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>         |              | 7.3       | <b>Compaction behaviour</b>                   |                                                  |
| <b>Loss on drying at 105°C (%)</b>   |              | 2.5%      | <b>Maximum dry density (g/cm<sup>3</sup>)</b> | 1.89                                             |
| <b>Loss on ignition at 550°C (%)</b> |              | 6.1%      | <b>Optimum moisture content (%)</b>           | 15%                                              |
| <b>Particle size distribution</b>    |              |           | <b>Atterberg limits</b>                       |                                                  |
| <b>Sand and gravel</b>               | 0.06mm >     | 12%       | <b>Plastic limit (%)</b>                      | 15.7%                                            |
| <b>Silt</b>                          | 0.002–0.06mm | 68%       | <b>Liquid limit (%)</b>                       | 27.2%                                            |
| <b>Clay</b>                          | < 0.002mm    | 20%       | <b>Plasticity index (%)</b>                   | 11.5%                                            |
| <b>Soil classification</b>           |              | Silt Loam | <b>Clay mineralogy (XRD)</b>                  | Main components: Quartz, Kaolinite and Muscovite |

Fuente: Eco-Architecture V, 2014

- Alginato: tallo LH y fronda LH.

Todos los productos de alginato utilizados en este estudio fueron producidos por Marine Biopolymers Ltd y fueron fabricados con algas marinas escocesas. En Escocia, las macroalgas pardas se pueden encontrar en la mayoría de los ambientes costeros, aunque los suministros más abundantes se concentran alrededor de las Hébridas Exteriores. Las dos especies más comunes en Escocia incluyen *Ascophyllum nodosum* y *Laminaria*, de las cuales existen varios tipos comunes, incluidas *Laminaria hyperborea*, *Laminaria saccharina* y *Laminaria digitata* [63]. Para los fines de este estudio, se estudiaron un total de cuatro productos diferentes (ver Tabla 8), incluidos dos productos de alginato de sodio secos, obtenidos de diferentes partes del alga *Laminaria Hyperborea*. A modo de comparación, también se probaron dos productos “residuos”, producidos como subproductos del proceso principal de extracción de alginato. Estos productos «residuales» estaban en forma de un

material similar a un lodo que contenía cantidades residuales de alginato que no se habían eliminado por completo durante el proceso principal de separación del alginato.

Tabla 8. Fuente y propiedades del Alginato

| Specimen       | Source                                        | M/G ratio | Moisture content (%) | Alginate content (%) |
|----------------|-----------------------------------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| <b>LHS - R</b> | Laminaria hyperborea (stem*) – residue        | High G    | 91.0%                | <10% of dry weight   |
| <b>LHF – R</b> | Laminaria hyperborea (frond**) – residue      | Medium G  | 89.5%                | <10% of dry weight   |
| <b>LHS</b>     | Laminaria hyperborea (stem) – dried alginate  | High G    | 11.1%                | 100% of dry weight   |
| <b>LHF</b>     | Laminaria hyperborea (frond) – dried alginate | Medium G  | 6.9%                 | 100% of dry weight   |

Fuente: Eco-Architecture V, 2014

\*Stem = componente en forma de tallo que forma la columna vertebral estructural

\*\*Frond = componentes en forma de hoja que están unidos al tallo

## 5.2.2. Preparación de la muestra

La metodología experimental se basa en el trabajo de Galán-Marín [64] y normas británicas relevantes como BS EN 1015:1999 [65]. Esto implicó preparar diferentes mezclas de tierra, agua destilada y el producto de alginato especificado, preparándose tres muestras para cada lote. Las proporciones de la mezcla se adaptaron para cada producto para garantizar que cada lote contuviera un contenido de alginato de sodio de ~0,1 % (peso) y un contenido total de agua de ~15 % (peso), como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Composición de la muestra (por 1 muestra de ladrillo)

| Specimen              | Soil (g) | Alginate / residue (g) | Additional water (ml)              | Approx. alginate content (%) | Overall water content (%) |
|-----------------------|----------|------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Control</b>        | 425g     | -                      | 75 ml                              | -                            | 15%                       |
| <b>Residues</b>       | 420g     | 70-80g                 | Adjusted depending on residue type | 0.1%                         | 15%                       |
| <b>Dried alginate</b> | 425g     | 0.5g                   | 75 ml                              | 0.1%                         | 15%                       |

Fuente: Eco-Architecture V, 2014

Luego, los materiales se homogeneizaron en una mezcladora de mortero durante no más de 3 minutos y luego se compactaron a mano en moldes de acero (40 x 40 x 160 mm) utilizando

un apisonador. Luego los moldes llenos se secaron en un horno a 60°C durante 24 horas y luego se retiraron de los moldes. Después del secado en horno, todas las muestras se almacenaron a temperatura y humedad ambiente durante un mínimo de 14 días antes de realizar la prueba.

### **5.2.3. Procedimiento de prueba**

- Observaciones visuales

Se realizaron observaciones iniciales sobre la trabajabilidad de la mezcla y la homogeneidad de las muestras preparadas y se etiquetaron y fotografiaron las muestras. La trabajabilidad se etiquetó como "buena", "moderada" o "mala" y la homogeneidad se clasificó como "mínima", "moderada" o "severa" según las grietas/defectos visibles de la superficie.

- Masa, densidad y contracción.

La densidad aparente ( $\rho$ ) de las muestras se dio como la relación entre la unidad de masa (g) en gramos y la unidad de volumen (cm<sup>3</sup>) calculada a partir de las dimensiones de la muestra. Se utilizaron calibradores digitales para realizar todas las mediciones. La contracción por secado lineal se calculó como la disminución porcentual de la longitud entre la longitud de 160 mm del molde y la longitud de la muestra seca.

- Resistencia a la flexión (basada en BS EN 1015-11:1999)

Este procedimiento de prueba, comúnmente conocido como prueba de flexión de tres puntos, se utiliza para determinar un valor para el módulo de rotura por flexión. El equipo de ensayo de flexión constaba de dos rodillos sobre los que descansaba la muestra. La distancia entre los dos rodillos de soporte debe ser de 100 mm a 5 mm. Un tercer rodillo se sitúa encima de la muestra en el punto medio. Luego se aplicó una carga gradualmente al rodillo superior usando una máquina de prueba universal, asegurando que la falla ocurriera entre 30 y 90 s después de aplicar la carga. La carga máxima (F), así como el ancho (b), la profundidad (d) y la longitud de referencia (l) se registraron para cada muestra y se utilizaron para obtener la resistencia a la flexión. Los resultados se calcularon con una precisión de 0,01 N/mm<sup>2</sup> como un promedio de tres muestras.

- Resistencia a la compresión (basada en BS EN 1015-11:1999)

El principio de esta prueba es que las muestras de medio ladrillo (Figura. 27), generadas a partir de la prueba de flexión, se cargan uniformemente en compresión en una dirección perpendicular a las juntas del lecho hasta que ocurre la falla (Figura. 28). Luego, el valor de la resistencia a la compresión de las muestras se derivó de la carga máxima ( $F_{max}$ ) y el área de la sección transversal de la muestra. Las muestras también se intercalaron entre dos piezas de madera contrachapada de 3 mm, según lo recomendado por Walker [66]. Los efectos de restricción de la platina también se tuvieron en cuenta mediante el uso de un factor de corrección que tiene en cuenta las variaciones en las geometrías de las muestras, permitiendo convertir los valores a valores de resistencia a la compresión no confinada [66].

Figura 28. Muestra de ladrillo después del ensayo de flexión



Fuente: Eco-Architecture V, 2014

Figura 29. Prueba de compresión



Fuente: Eco-Architecture V, 2014

### 5.2.4. Resultados

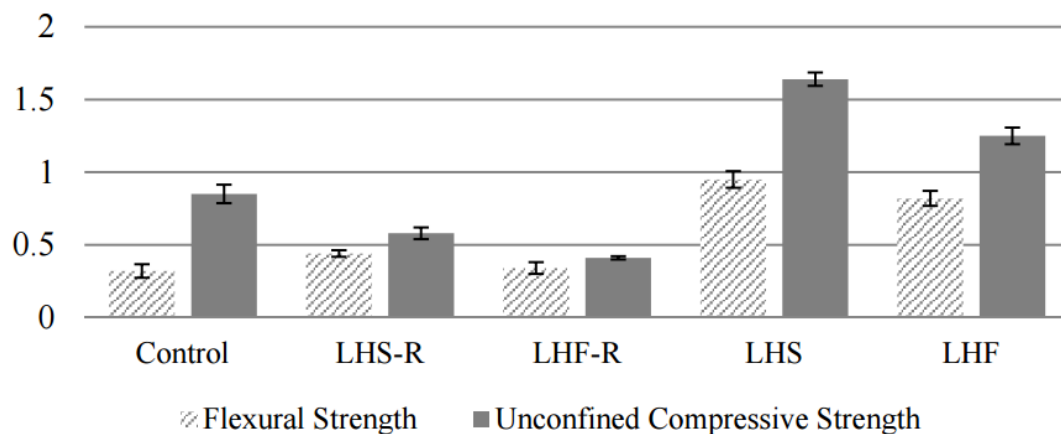
Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 10 y Figura 30.

Tabla 10. Resumen de resultados para muestras de ladrillo

| Specimen | Average unit mass (g) | Average bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Workability (good/mod./ poor) | Homogeneity (good/mod./ poor) | Linear shrinkage (%) | Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Flexural strength (N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Control  | 392                   | 1.98                                      | Mod.                          | Mod.                          | 9%                   | 0.85                                      | 0.32                                   |
| LHS-R    | 390                   | 1.69                                      | Good                          | Mod.                          | 4%                   | 0.58                                      | 0.44                                   |
| LHF-R    | 372                   | 2.25                                      | Good                          | Mod.                          | 5%                   | 0.41                                      | 0.34                                   |
| LHS      | 416                   | 1.90                                      | Good                          | Good                          | 5%                   | 1.64                                      | 0.95                                   |
| LHF      | 379                   | 1.83                                      | Good                          | Good                          | 7%                   | 1.25                                      | 0.82                                   |

Fuente: Eco-Architecture V, 2014

Figura 30. Resultados de resistencia a flexión y compresión (N/mm<sup>2</sup>)



Fuente: Eco-Architecture V, 2014

Las observaciones visuales revelaron que en términos de trabajabilidad, hubo una mayor cohesividad y plasticidad durante la mezcla debido a la naturaleza gelatinosa del alginato en comparación con el uso de agua sola. Se encontró que la homogeneidad de las muestras variaba incluso entre muestras del mismo lote y, por lo tanto, es probable que los defectos que ocurrieron se debieran en gran medida a variaciones en el procedimiento de fabricación.

Sin embargo, en general, las mezclas LHS y LHF tuvieron menos defectos y grietas superficiales en comparación con los otros tres lotes.

Se encontró que las densidades aparentes de las muestras estaban dentro del rango esperado para bloques de tierra comprimida de 1,5 a 2 g/cm<sup>3</sup> [39] y cerca de los valores máximos de densidad seca para el tipo de suelo dado (1,89 g/cm<sup>3</sup>). Es probable que las variaciones se debieran a discrepancias experimentales en el nivel de compactación y la cantidad de material perdido al retirarlo del molde. En términos de los valores de contracción alcanzados, tanto las muestras LHF como las de control quedaron ligeramente fuera del rango típico de 3-6% sugerido por Morton [67]. Los materiales fibrosos, como la paja, se utilizan normalmente para reducir la contracción por secado en materiales terrestres y, por lo tanto, las reducciones observadas debido a la adición de ambos productos residuales pueden deberse a los componentes fibrosos de celulosa contenidos en este material.

Los valores resultantes para la resistencia a la flexión fueron ampliamente similares para el control y los dos productos residuales; sin embargo, ambos productos de alginato mostraron valores aumentados, y el producto LHS en particular proporcionó una resistencia a la flexión de 0,95 N/mm<sup>2</sup>, que fue casi tres veces el valor de la muestra de control.

Todos los productos ayudaron a aumentar la mezcla de control más allá del criterio de 0,34 N/mm<sup>2</sup> requerido por las normas existentes [68]. Se observó un patrón similar de resultados con los valores de resistencia a la compresión con el producto LHS, lo que nuevamente condujo al mayor aumento y logró una resistencia a la compresión máxima de 1,64 N/mm<sup>2</sup>. Sin embargo, ninguna de las muestras analizadas superó la resistencia a la compresión mínima de 2 N/mm<sup>2</sup> recomendada por las normas internacionales existentes para bloques de tierra sin cocer [68]. Aunque puede haber alguna variación debido a la naturaleza artesanal de los ladrillos y la dificultad de controlar el grado de compactación, es probable que otros factores como el tipo de suelo y los tipos de alginato utilizados hayan contribuido a los resultados. Es interesante observar que se observó una diferencia entre los productos de tallo y de hoja, y los productos de tallo demostraron una ligera mejora tanto para el alginato como para el residuo. Es probable que esto haya sido causado por la diferente composición del polímero de alginato. El producto del tallo tendrá un mayor contenido de ácido gulurónico y, en consecuencia, producirá una red de gel más fuerte y rígida en comparación con los productos derivados de las hojas. Por lo tanto, parece lógico que las mezclas LHS-R y LHS hayan demostrado valores de resistencia a la compresión más altos que las mezclas de productos de hojas equivalentes.

## **6. Estudio del sargazo en la aplicación como material bioaislante en un mortero (J. Cruz)**

### **6.1. Materiales utilizados**

- Cemento
- Agua
- Agregado fino
- Sargazo

### **6.2. Preparación de la muestra**

- 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 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 24h.

Una vez realizado el lavado se trituro 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.

### **6.3. Procedimiento de prueba**

- 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:

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

Donde:

C<sub>p</sub>= 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

Q<sub>0</sub>= Densidad del líquido auxiliar

P= Empuje hidrostático del sólido en el líquido auxiliar.

## 6.4. Resultados

- Tratamiento del sargazo recolectado

El material recolectado inicialmente fue de aproximadamente 0.36 m<sup>3</sup>, 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 trituró a un tamaño de partícula menor a 4.75 mm para cumplir con la norma y se le realizó una caracterización (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros de caracterización del Sargazo

| Parámetro a evaluar                  | Valor                |
|--------------------------------------|----------------------|
| <b>Humedad (%)</b>                   | $9.49 \pm 0.007$     |
| <b>Absorción (%)</b>                 | $17.72 \pm 0.06$     |
| <b>Peso volumétrico seco (Kg/m³)</b> | $413.65 \pm 12.96$   |
| <b>Peso específico (Kg/m³)</b>       | $1228.35 \pm 147.30$ |

Fuente: Research Gate, 2024

- 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 12).

Tabla 12. Diseño del mortero con el sargazo como sustituto

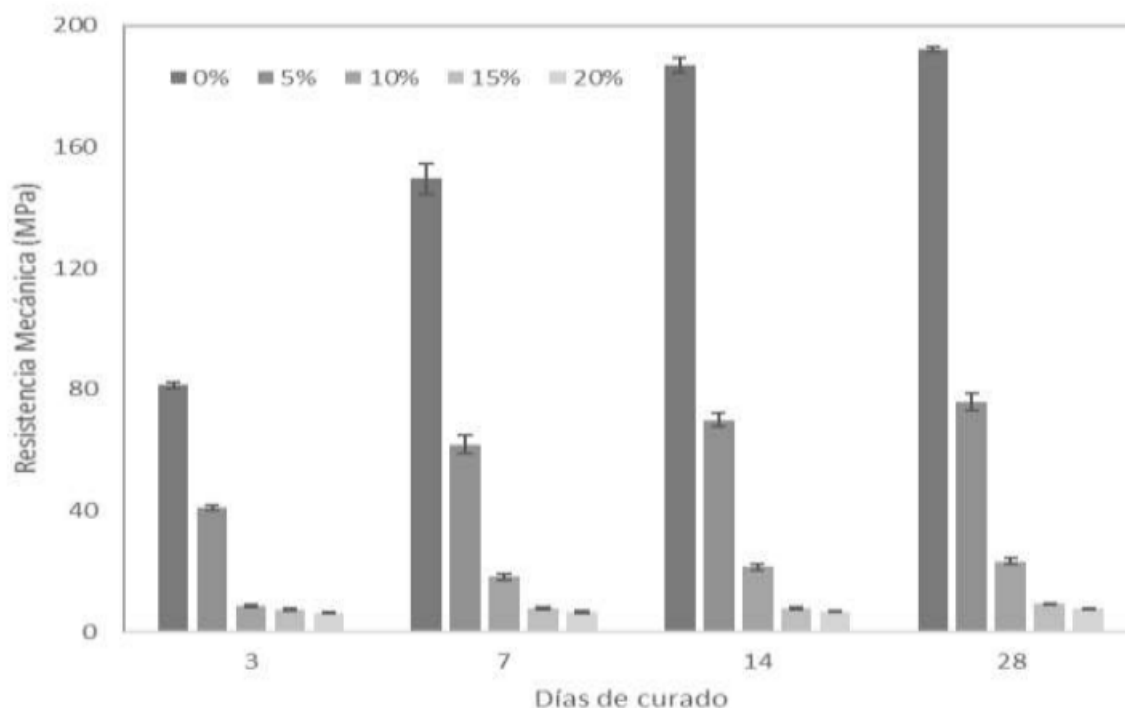
| % de sustitución | Cemento (gr) | Agua (ml) | Agregado fino (gr) | Sargazo (gr) |
|------------------|--------------|-----------|--------------------|--------------|
| <b>0%</b>        | 325          | 320       | 1669.9             | 0            |
| <b>5%</b>        | 325          | 320       | 1586.4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

Fuente: Research Gate, 2024

#### 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  $23.3 \pm 0.9$ ,  $9.2 \pm 0.4$  y  $7.6 \pm 0.1$  MPa, respectivamente, muestran valores bajos comparados con el parámetro establecido como mínimo al momento de realizar el diseño (Fig. 31).

Figura 31. Resistencia mecánica de morteros con diversos porcentajes de sustitución



Fuente: Research Gate, 2024

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 13), 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.

Tabla 13. Resultados de densidad, conductividad, transmitancia, calor específico realizados al sargazo natural

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

Fuente: Research Gate, 2024

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  $\pm$  0.05 W/MK hasta 0.21  $\pm$  0.25 W/MK, lo que se traduce a una disminución del 32% y de 0.63  $\pm$  0.10 W/MK, hasta 0.405  $\pm$  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 13). 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.

En conclusión, 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.

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 [73].

## 7. SargaBlock (México)

SargaBlock es una empresa innovadora fundada por Omar Vázquez, la cual ha creado un material de construcción ecológico utilizando sargazo, una macroalga que afecta las costas del Caribe Mexicano. Este proyecto surgió en 2015 cuando Vázquez comenzó a recoger el sargazo para utilizarlo como fertilizante, dando paso luego a la creación de bloques de construcción denominados SargaBlocks. Estos bloques están hechos principalmente de sargazo. Este material innovador es el resultado de la visión de aprovechar el sargazo no solo como un residuo, sino como un recurso valioso. Para la fabricación de los bloques, se sigue un proceso específico que incluye la recolección, limpieza, secado y mezcla del sargazo con otros componentes [69].

Los bloques contienen una mezcla de aproximadamente 40% de sargazo y 60% de otros materiales orgánicos. Este balance permite que los bloques mantengan una estructura sólida y sean viables para la construcción. La idea detrás de la inclusión de sargazo en la construcción es no solo brindar una solución al problema ambiental que representa la acumulación de esta alga en las playas, sino también ofrecer una alternativa sostenible y ecológica en el sector de la construcción.

SargaBlock ha desarrollado dos tipos de bloques: uno tradicional, compactado manualmente en moldes individuales y secado al sol durante 10 días, y otro perforado, compactado mecánicamente a una compresión de 112 kg por cm<sup>2</sup>, produciendo hasta 435 piezas por hora. Los estudios iniciales sobre estos bloques indican que contienen entre un 40% y un 60% de residuo orgánico del sargazo [70].

Figura 32. Sargablock industrial



Figura 33. Sargablock artesanal



Fuente: SargaBlock – Productos [69]

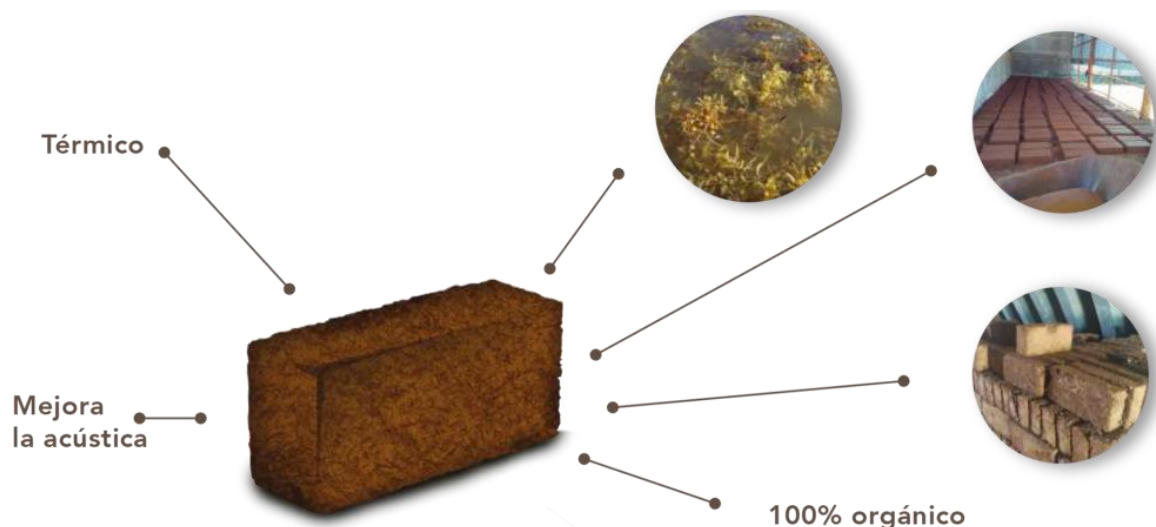
La empresa tiene su primera fábrica artesanal en Mahahual, un pueblo turístico, creando empleos y promoviendo la construcción de viviendas asequibles. Una casa de sargazo puede durar hasta 120 años, y el objetivo es donar casas a familias desfavorecidas, expandiendo la visión más allá del lucro para apoyar a comunidades locales con negocios sostenibles. La iniciativa ha despertado interés internacional, con contactos desde países como Belice, Jamaica, Puerto Rico, República Dominicana, Barbados, Malasia y Estados Unidos, todos buscando replicar este enfoque sostenible frente a la problemática del sargazo en sus costas

La Universidad Nacional Autónoma de México puso a prueba el Sargablock y dio fe de que son verdaderamente resistentes y duraderos, bastante comparable con el adobe e incluso, fabricado con la misma técnica de compresión; la cual elimina el mal olor natural de las algas.

Estudios realizados por la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo, México, encontraron que la resistencia de los ladrillos es de 75 a 120 kgf/cm<sup>2</sup>. o 7.5 a 11 MPa [71].

El sargazo resultó ser un material idóneo para construcción, pues una casa de Sargablock es un hogar fresco y resistente. En invierno se conserva cálido y seco. Gracias a sus propiedades térmicas y acústicas. La composición de estos bloques, que integra sargazo en un 40%, contribuye a una mejora significativa en el aislamiento tanto térmico como acústico de las construcciones. Esto se debe a la naturaleza orgánica del sargazo, que, al ser procesado y mezclado con otros materiales orgánicos, resulta en un material de construcción que no solo es sustentable sino también eficiente desde el punto de vista energético.

Figura 34. Propiedades del Sargablock



Fuente: SargaBlock - Productos

Además de sus beneficios en cuanto a la sostenibilidad y el aprovechamiento de un recurso que de otra manera sería desechado, los SargaBlocks representan una opción económica viable. Según Vázquez, el costo de construir una vivienda con estos materiales es significativamente menor en comparación con las técnicas tradicionales, lo que permite un ahorro de entre un 30 a un 40 por ciento del precio total. Esto se traduce en una reducción del 70 por ciento solo en el costo de materiales como varillas y cemento. El costo de cada bloque es de 10 pesos mexicanos (0.55 euros), casi un 50% más barato que los ladrillos convencionales.

## Proyectos

- Casa Angelita

Figura 35. Casa Angelita



Fuente: SargaBlock Web

La primera construida con SargaBlock, es una edificación en Puerto Morelos, Quintana Roo, Hecha en 2018. Tiene 40 m<sup>2</sup> y se utilizaron 2.150 bloques la cual requiere 20 toneladas de Sargazo húmedo.

- Corona Capital

Figura 36. Casa Angelita



Fuente: SargaBlock Web

La cervecería Corona Capital celebró su décimo aniversario reforzando su proyecto de sostenibilidad y el compromiso que tiene con el medio ambiente mediante el uso de Sargablock para construir un muro fotográfico.

- Casas donadas

Figura 37. Entrega de Casa donada



Fuente: SargaBlock Web

SargaBlock se ha enfocado en ayudar a quienes realmente lo necesitan a través de la donación de casas. Este esfuerzo se refleja en la construcción de viviendas para familias en situaciones vulnerables en localidades como Puerto Morelos, Leona Vicario y Cancún

- Adora Tulum

Figura 38. Condominio Adora Tulum



Fuente: SargaBlock Web

Es un complejo de condominios privados y también de hotel. El alma de ADORA TULUM se proyecta en la consciencia de utilizar un material orgánico que de forma innovadora apoya al medio ambiente de la región y el mundo.

- Consultorios

Figura 39. Consultorio hecho con Sargablock



En 2020 se donaron dos consultorios para el Sistema Integral para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) de Puerto Morelos. Actualmente hay varios consultorios en construcción hechos con estos tipos de bloques de sargazo.

## 8. SargaCreto (México)

El "SargaCreto" es un material de construcción innovador desarrollado por Grupo Dakatso, que utiliza sargazo como uno de sus componentes principales. Este material surgió como una solución al problema del sargazo en el Caribe Mexicano, aprovechando esta alga que frecuentemente llega a las costas en grandes cantidades, lo que representa un desafío ambiental y económico para la región.

El proceso de fabricación de SargaCreto incluye la recolección del sargazo en alta mar, preferiblemente el sargazo vivo, que luego se lava para eliminar la salinidad con químicos biodegradables. Posteriormente, el sargazo se tritura y se deshidrata utilizando rayos UV. Esta alga deshidratada se mezcla con concreto en una concentración de entre 35 y 40 por ciento. La patente para este procedimiento está pendiente, y el material resultante se puede utilizar para construir caminos de tráfico ligero, aceras, bloques, viguetas, bóvedas, pisos estampados y cercas perimetrales, así como en parques públicos (bancos, áreas de juegos y áreas verdes). [72].

Figura 40. Bloques de concreto con Sargazo



Fuente: La Jornada, 2021 [72]

Figura 41. Pisos hechos con Sargazo



Fuente: La Jornada, 2021 [72]

## 9. Tablas comparativas de las propiedades de los bloques

### Bloque de hormigón hueco según CTE

| Material                   | $\rho$   | $\lambda$ | Cp   | $\mu$ |
|----------------------------|----------|-----------|------|-------|
| Bloque de hormigón (hueco) | 790-1110 | 0.45      | 1000 | 6     |

### Bloque de Adobe según CTE

| Material        | $\rho$    | $\lambda$ | Cp  | $\mu$ |
|-----------------|-----------|-----------|-----|-------|
| Bloque de Adobe | 1770-2000 | 1.1       | N/A | N/A   |

### Bloque de Adobe con Polímero de Alga y fibras naturales (C. Galán-Marín)

| Material                                                | $\rho$    | $\lambda$ | Cp  | $\mu$ |
|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----|-------|
| Bloque de Adobe con Polímero de Alga y fibras naturales | 1790-1840 | N/A       | N/A | N/A   |

### Bloque de Adobe con Polímero de Alga (C. Dove)

| Material                             | $\rho$    | $\lambda$ | Cp  | $\mu$ |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----|-------|
| Bloque de Adobe con Polímero de Alga | 1690-2250 | N/A       | N/A | N/A   |

### Mortero con Sargazo (J. Cruz)

| Material            | $\rho$ | $\lambda$ | Cp  | $\mu$ |
|---------------------|--------|-----------|-----|-------|
| Mortero con Sargazo | 1868   | 0.52      | 893 | N/A   |

$\rho$  : Densidad, en Kg/m<sup>3</sup>

$\lambda$  : Conductividad térmica, en W/m·K

Cp : Calor específico, en J/Kg·K

$\mu$  : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional

## 10. Tabla comparativa de precios de tipos de Bloques en México

| Material                  | Precio unitario (Peso Mex) | Precio unitario (Euro) |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| Sargablocks               | 10.00                      | 0.57                   |
| Bloque solido de concreto | 15.00                      | 0.85                   |
| Bloque hueco de concreto  | 19.00                      | 1.08                   |

## 11. Conclusiones

La integración del sargazo y otros tipos de algas en la industria de la construcción, en particular en la producción de bloques de tierra sin cocer y bloques de sargazo, ha demostrado un potencial significativo para la sostenibilidad y la innovación. La iniciativa de SargaBlock desde 2019 y los estudios de Galan-Marín et al. (2010), y Dove (2014) destacan el papel crucial del alginato, un polímero natural que se encuentra en las algas, con notables propiedades aglutinantes que mejoran el rendimiento mecánico de los bloques de construcción.

Los resultados de la investigación indican que la adición de 0,5% de alginato al peso del suelo puede aumentar la resistencia a la compresión de 2.23 a 3.77 MPa en un 70%, y cuando se combina con fibras de lana de oveja (0,25% en relación con el peso del suelo), la resistencia a la compresión se puede aumentar aproximadamente en un 100% (4.44MPa) lo cual cumple con la resistencia a la compresión mínima recomendada por las normas internacionales existentes para bloques de tierra sin cocer que es de 2 MPa. De manera similar, la utilización de alginato al 0,5% de *Laminaria hyperborea* ha dado como resultado un aumento de aproximadamente el 100% en la resistencia a la compresión y aproximadamente el 190% en la resistencia a la flexión de los bloques. Estos avances están respaldados por la "Guía del usuario de sargazo" de Desrochers et al. para el Caribe, que informó sobre la producción de adobe utilizando sargazo (*S. natans* y *S. fluitans*), logrando valores de resistencia a la compresión que oscilan entre 7,5 y 11 MPa para bloques compuesto por aproximadamente un 40% de sargazo en relación con el peso del suelo, una cifra notable para bloques sin cocer.

Aunque aún no se han evaluado exhaustivamente las propiedades térmicas de bloques de adobe o hormigón con sargazo, estudios preliminares sobre morteros con adición de sargazo triturado muestran resultados prometedores. Se ha encontrado que la incorporación de hasta un 5% de sargazo mejora la capacidad aislante del material, reduciendo la conductividad térmica hasta en un 34% y manteniendo una resistencia mecánica adecuada de 75.87 MPa. Este enfoque no solo mejora el bienestar interior de las viviendas, sino que también promueve un uso sostenible de recursos naturales. Sin embargo, superar el 5% en la sustitución podría comprometer la resistencia mecánica del material.

La integración de las algas en el sector de la construcción presenta una vía prometedora para el desarrollo sostenible, y el uso de alginatos de algas pardas y sargazo ofrece mejoras sustanciales en la resistencia y estabilidad de los bloques de adobe. Estos hallazgos no solo contribuyen a minimizar el impacto ambiental de la acumulación de algas, sino que también resaltan las implicaciones y oportunidades más amplias de incorporar recursos naturales en materiales de construcción.

## **12. Futuras líneas de investigación**

La exploración del uso de algas en la fabricación de materiales de construcción, particularmente en adobes y otros bloques de construcción, se encuentra en una etapa incipiente, con una cantidad limitada de estudios realizados hasta la fecha. Esto destaca la importancia y la necesidad de expandir la investigación en este campo para aprovechar plenamente el potencial sostenible de las algas. Un área prometedora es la diversificación de las especies de algas utilizadas, lo que podría revelar nuevas posibilidades en términos de rendimiento y propiedades mecánicas de los materiales. Asimismo, es crucial determinar las proporciones óptimas de algas en las mezclas de construcción para mejorar la resistencia y la durabilidad de los materiales, manteniendo su sostenibilidad.

El análisis del impacto ambiental a largo plazo de estos materiales es otro aspecto fundamental, incluyendo la evaluación de su ciclo de vida completo y su comparación con los materiales tradicionales en términos de captura de carbono y biodegradabilidad. También es esencial investigar métodos avanzados para el procesamiento de algas, lo que podría incrementar la eficiencia y la efectividad de su uso en la construcción.

La economía de la producción de materiales de construcción basados en algas merece un estudio detallado para comprender mejor los costos, los beneficios económicos y las barreras para su comercialización y adopción a gran escala. La durabilidad de estos materiales frente a diversas condiciones ambientales, como la humedad y la exposición solar, y su resistencia al fuego son aspectos críticos para garantizar su aplicabilidad a largo plazo.

## 13. Bibliografía

- [1] Desrochers, Anne, Cox, Shelly-Ann, Oxenford, Hazel A., van Tussenbroek, Brigitta I., 2020a. Sargassum Uses Guide: A Resource for Caribbean Researchers, Entrepreneurs and Policy Makers (CERMES Technical Report No. 97 Special Edition.
- [2] Del Aoml, C. (2022, 20 septiembre). Seguimiento del potencial de inundación de sargazo para las comunidades costeras. Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico del Atlántico de NOAA. <https://www.aoml.noaa.gov/es/tracking-sargassum/>
- [3] Fundación Aquae. (2021, 27 agosto). El mar de sargazos que florece en el océano - Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/el-inmenso-mar-de-sargazos-que-florece-en-el-oceano/>
- [4] Forumnatura.Eu. (2021, 6 septiembre). Invasión de sargazo en las playas dominicanas. Forumnatura. <https://forumnatura.org/2021/09/06/invasion-de-sargazo-en-las-playas-dominicanas/>
- [5] Schell, J. M. , D. S. Goodwin & A. N. S Siuda. 2015. Recent sargassum inundation events in the Caribbean: shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. Oceanography 28 (3):8-10.
- [6] Hanisak, M. D. & M. A. Samuel. 1987. Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, USA. Hydrobiologia 151/152:399-404. Doi doi:10.1007/BF00046159.
- [7] Ody, A., T. Thibaut, L. Berline, T. Changeux, J.-M. André, C. Chevalier, A. Blanfuné, J. Blanchot et al. 2019. From In Situ to satellite observations of pelagic Sargassum distribution and aggregation in the Tropical North Atlantic Ocean. PLOS ONE 14 (9):e0222584. doi: 10.1371/journal.pone.0222584.

- [8] Mouritsen, O. G., M. Johansen & J. D. Mouritsen. 2013. Seaweeds : Edible, Available, and Sustainable. Chicago, USA: University of Chicago Press. 306 pp.
- [9] Milledge, J. J., S. Maneein, E. Arribas López & D. Bartlett. 2020. Sargassum inundations in Turks and Caicos: methane potential and proximate, ultimate, lipid, amino acid, metal and metalloid analyses. *Energies* 13 (1523):1-27.
- [10] Rodríguez-Martínez, R. E., P. D. Roy, N. Torrescano-Valle, N. Cabanillas-Terán, S. Carrillo-Domínguez, L. Collado-Vides, M. García-Sánchez & B. I. van Tussenbroek. 2020. Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ* 8:e8667. doi: 10.7717/peerj.8667.
- [11] Webber, M., H. Reid, R. Delgoda, W. Gallimore, F. Boyd, T. Stephenson, A. Maxam, O. Campbell, D. Davis & J. Freeman. 2019. Sargassum update from Jamaica 2: The UWI response. Kingston, Jamaica (workshop document): IAEA Interregional Workshop on the use of nuclear techniques for Sargassum control. 5 pp.
- [12] Angell, A. R., L. Mata, R. de Nys & N. A. Paul. 2016. The protein content of seaweeds: A universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of Applied Phycology* 28 (1):511-524. doi: 10.1007/s10811-015-0650-1.
- [13] Maehre, H. K., L. Dalheim, G. K. Edvinsen, E. O. Elvevoll & I. J. Jensen. 2018. Protein determination method matters. *Foods* 7 (1). doi: 10.3390/foods7010005.
- [14] Ocean Harvest Technology. 2016. Preliminary results of biochemical composition of Sargassum collected from beach in BVI in March 2016.
- [15] Tirolien, J. 2019. Presentation: Valorisation agronomique des algues sargasses. International Conference on Sargassum, Guadeloupe, France, 25 October 2019.

[16] Johnson, D. L. & R. S. Braman. 1975. The speciation of arsenic and the content of germanium and mercury in members of the pelagic Sargassum community. Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts 22 (7):503-507. doi: 10.1016/0011-7471(75)90023-6.

[17] Addico, G. N. D. & K. A. A. deGraft-Johnson. 2016. Preliminary investigation into the chemical composition of the invasive brown seaweed Sargassum along the West Coast of Ghana. African Journal of Biotechnology 15 (39):2184-2191. doi: DOI: 10.5897/AJB2015.15177

[18] Epitacio, M. (2019, 29 julio). Tips para saber en qué playas del destino hay sargazo al momento. Xcaret. <https://blog.xcaret.com/es/en-que-playas-hay-sargazo/>

[19] Fundación Aquae. (2023, 23 mayo). *Posidonia oceánica: curiosidades* - Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/posidonia-oceanica/>

[20] NOAA Ship Okeanos Explorer: Gulf of Mexico 2017: Mission Logs: Gulf of Mexico Loop Current: NOAA Office of Ocean Exploration and Research. (s. f.). <https://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1711/logs/dec1/welcome.html>

[21] Malcolm, I., Godfrey, J. D., & Youngson, A. F. (2010). Review of migratory routes and behaviour of Atlantic salmon, Sea trout and European eel in Scotland's. . . ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/268806852\\_Review\\_of\\_migratory\\_routes\\_and\\_behaviour\\_of\\_Atlantic\\_salmon\\_Sea\\_trout\\_and\\_European\\_eel\\_in\\_Scotland%27s\\_coastal\\_environment\\_implications\\_for\\_the\\_development\\_of\\_marine\\_renewables/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/268806852_Review_of_migratory_routes_and_behaviour_of_Atlantic_salmon_Sea_trout_and_European_eel_in_Scotland%27s_coastal_environment_implications_for_the_development_of_marine_renewables/figures?lo=1)

[22] Robles, G. B. A. (2021, 20 marzo). *Sargasso Sea map*. NOLA.com. [https://www.nola.com/sargasso-sea-map/image\\_5f0b041a-89d3-11eb-b511-37b85acc1480.html](https://www.nola.com/sargasso-sea-map/image_5f0b041a-89d3-11eb-b511-37b85acc1480.html)

[23] Efe, A. (2023, 15 junio). Más de 70 millones de toneladas de sargazo llegarán este año al Caribe, según Medio Ambiente. listindiario.com. <https://listindiario.com/la->

[republica/20230615/mas-70-millones-toneladas-sargazo-llegaran-ano-caribe-medio-ambiente\\_758995.html](http://republica/20230615/mas-70-millones-toneladas-sargazo-llegaran-ano-caribe-medio-ambiente_758995.html)

[24] Optical Oceanography Laboratory — College of Marine Science — University of South Florida. (s. f.). <https://optics.marine.usf.edu/projects/saws.html>

[25] B. Rehm, Alginates: Biology and applications, vol. 13. Springer, 2009.

[26] K. I. Draget, O. Smidsrød, and G. Skjåk-Bræk, “Alginates from algae,” Biopolym. Online, 2005.

[27] W. Cook, “Alginate dental impression materials: Chemistry, structure, and properties,” J. Biomed. Mater. Res., vol. 20, no. 1, pp. 1–24, Jan. 1986.

[28] M. T. Burrows, M. Macleod, and K. Orr, “Mapping the intertidal seaweed resources of the Outer Hebrides,” S.A.M.S & Hebridean Seaweed Company, Scottish Association for Marine Science Internal Report No. 269, 2010.

[29] J. Quastel and D. Webley, “The effects of the addition to soil of alginic acid and other forms of organic matter on soil aeration,” J Agric Sci, vol. 37, pp. 257–266, 1947.

[30] W. Emerson, “Synthetic soil conditioners,” J Agric Sci, vol. 47, no. 11, pp. 7–121, 1956.

[31] G. Minke, Building with earth. Birkhäuser, 2006.

[32] S.-O. Han, H.-S. Kim, Y.-J. Yoo, Y.-B. Seo, and M.-W. Lee, “Seaweed Fibre-Reinforced Biocomposite and Method for Producing the Same Using High-temperature Grinding,” 03-May-2008.

[33] M. Achenza and L. Fenu, "On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction," *Mater. Struct.*, vol. 39, no. 1, pp. 21–27, Jan. 2006.

[34] K.-C. Lee, J.-H. Her, and S.-K. Kwon, "Red clay composites reinforced with polymeric binders," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 12, pp. 2292–2298, 2008.

[35] SELECCIÓN DE SUELOS y MÉTODOS DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. (2009). Red Proterra. [https://redproterra.org/wp-content/uploads/2019/04/seleccao\\_de\\_solos\\_09.pdf](https://redproterra.org/wp-content/uploads/2019/04/seleccao_de_solos_09.pdf)

[36] REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN. (2014). Research Gate. [https://www.researchgate.net/publication/261995167\\_REMOCION\\_DE\\_ARSENICO\\_EN\\_AGUA\\_MEDIANTE\\_PROCESOS\\_DE\\_COAGULACION-FLOCULACION](https://www.researchgate.net/publication/261995167_REMOCION_DE_ARSENICO_EN_AGUA_MEDIANTE_PROCESOS_DE_COAGULACION-FLOCULACION)

[37] E. W. Smith and G. S. Austin, *Adobe, pressed-earth, and rammed-earth industries in New Mexico*. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, 1989.

[38] H. Houben and H. Guillaud, *Earth construction: a comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications, 1994.

[39] C. Williams, S. Goodhew, R. Griffiths, and L. Watson, "The feasibility of earth block masonry for building sustainable walling in the United Kingdom," *J. Build. Apprais.*, vol. 6, no. 2, pp. 99–108, 2010.

[40] O. Ruskulis, "Additives to Clay: Mineral and Synthetic Additives," *Practical Action, Technical Brief*, 2002.

[41] GreenSpec: Unfired clay bricks and structure. (s. f.). Srcnet. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/unfired-clay-and-structure/>

- [42] B. Little and M. Morton, "Building with Earth in Scotland," 2001.
- [43] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction," *Constr. Build. Mater.*, vol. 29, pp. 512–519, Apr. 2012.
- [44] P. J. Walker, "Strength, durability and shrinkage characteristics of cement stabilised soil blocks," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 17, no. 4, pp. 301–310, 1995
- [45] J.-C. Morel, A. Pkla, and P. Walker, "Compressive strength testing of compressed earth blocks," *Constr. Build. Mater.*, vol. 21, no. 2, pp. 303–309, 2007.
- [46] E. Worrell, L. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L. O. Meida, "Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry," *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 26, no. 1, pp. 303–329, Nov. 2001.
- [47] A. Hasanbeigi, L. Price, and E. Lin, "Emerging energy-efficiency and CO<sub>2</sub> emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 8, pp. 6220–6238, 2012.
- [48] G. Hammond and C. Jones, *Inventory of Carbon & Energy: ICE*. Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2008
- [49] A. Ogacho, B. Aduda, and F. Nyongesa, "Thermal conductivity of a kaolinite refractory: effect of a plant-derived organic binder," *J. Mater. Sci.*, vol. 38, no. 11, pp. 2293–2297, 2003.
- [50] F. Balo and H. L. Yucel, "Assessment of Thermal Performance of Green Building Materials Produced with Plant Oils," *Int. J. Mater. Sci.*, vol. 3, no. 3, 2013.
- [51] O. Ruskulis, "Additives to Clay: Organic Additives," *Practical Action*, Technical Brief, 2002.

[52] Bui Q, Morel JC, Hans S, Meunier N. Compression behaviour of non-industrial materials in civil engineering by three scale experiments: the case of rammed earth. *Mater Struct* 2008. doi:10.1617/s11527-008-9446-y

[53] Jiménez Delgado MC, Cañas Guerrero I. Earth building in Spain. *Constr Build Mater* 2006;20:679–90.

[54] MOPT. Bases para el diseño y construcción con tapial. Madrid Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica, Ministerio de Obras Publicas y Transportes; 1992.

[55] J. Plank, “Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 66, no. 1, pp. 1–9, Nov. 2004.

[56] M. Vieira, D. Klemm, L. Einfeldt, and G. Albrecht, “Dispersing agents for cement based on modified polysaccharides,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 5, pp. 883–890, 2005.

[57] Narloch, P., & Woyciechowski, P. (2020). Assessing Cement Stabilized Rammed Earth Durability in A Humid Continental Climate. *Buildings*, 10(2), 26. <https://doi.org/10.3390/buildings10020026>

[58] Hossain KMA, Lachemi M, Easa S. Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua new Guinea resources. *Conserv Recycle* 2007;51:711–31.

[59] Ngowi A. Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. *Constr Build Mater* 1997;11(1):1–7.

[60] Atzeni C, Pia G, Sanna U, Spanu N. Surface wear resistance of chemically or thermally stabilized earth-based materials. *Mater Struct* 2008;41:751–8.

[61] Bahar R, Benazzoug M, Kenai S. Performance of compacted cement-stabilised soil. *Cem Concr Compos* 2004;26:811–20.

[62] European Committee for Standardization, EN 12190 1999. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of compressive strength of repair mortars. AENOR; 1998.

[63] M. T. Burrows, M. Macleod, and K. Orr, “Mapping the intertidal seaweed resources of the Outer Hebrides,” S.A.M.S & Hebridean Seaweed Company, Scottish Association for Marine Science Internal Report No. 269, 2010.

[64] C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez, and J. Petric, “Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 8, pp. 1462–1468, 2010.

[65] BS EN 1015-11:1999 British Standard Institute, “Methods of test for mortar for masonry: Part 11”, 1999.

[66] P. J. Walker, “Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth Morton block masonry,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 16, no. 5, pp. 497–506, 2004

[67] T. Morton, *Earth masonry: Design and construction guidelines*. IHS BRE Press, 2008.

[68] Government of New Mexico, “2009 New Mexico Earthen Building Materials Code,” NMAC 14.7.4, 2009.

[69] sargablock.com.mx. (2021, 20 julio). Inicio - sargablock.com.mx. sargablock.com.mx - Sargablock. <https://sargablock.com.mx/>

[70] Desconocido, M., & Desconocido, M. (2022, 3 agosto). Sargablock, una invención de México para el mundo. *Emprendedor | el Medio Líder de Emprendimiento y Negocios*. <https://emprendedor.com/sargablock-una-invencion-de-mexico-para-el-mundo/>

[71] Miranda, J. L. L., Celis, L. B., Estévez, M., Chávez, V., Van Tussenbroek, B. I., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Pantoja, I. R., Masia, L., Cauich-Kantun, C., & Silva, R. (2021). Commercial Potential of Pelagic Sargassum spp. in Mexico. *Frontiers In Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.768470>

[72] Canduriz, R. R. (s. f.). «Sargacreto», la nueva forma de aprovechar el sargazo. *La Jornada Maya*. <https://www.lajornadamaya.mx/quintanaroo/84181/sargacreto-la-nueva-forma-de-aprovechar-el-sargazo>

[73] CRUZ-ARGUELLO, Julio & García-Uitz, Karla & Gonzalez-salvatierra, Claudia & Rosas-Luis, Rigoberto. (2024). Estudio de las propiedades biológicas, fisicoquímicas del sargazo en la aplicación como material bioaislante en un mortero.

## **14. Agradecimientos**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres por haber forjado la persona que soy hoy en día y por brindarme la invaluable oportunidad de realizar mis estudios de máster, su apoyo ha sido fundamental en cada paso de este viaje.

Extiendo mi gratitud a mis profesores de la universidad, cuya dedicación y enseñanzas han sido la base de todo lo que sé académicamente. Su guía y conocimiento han sido pilares esenciales en mi formación y desarrollo personal y profesional.

No menos importante, quiero agradecer a mis compañeros de clase, por ser parte de este proceso de aprendizaje, compartiendo experiencias y creciendo juntos. Todos ustedes han sido piezas clave en este viaje educativo y personal.

Gracias por creer en mí y por ser parte esencial de este logro.