

“Empleo del alga
Rugulopteryx Okamurae
como material de
construcción”

Autor: Miguel Pascual Álvarez



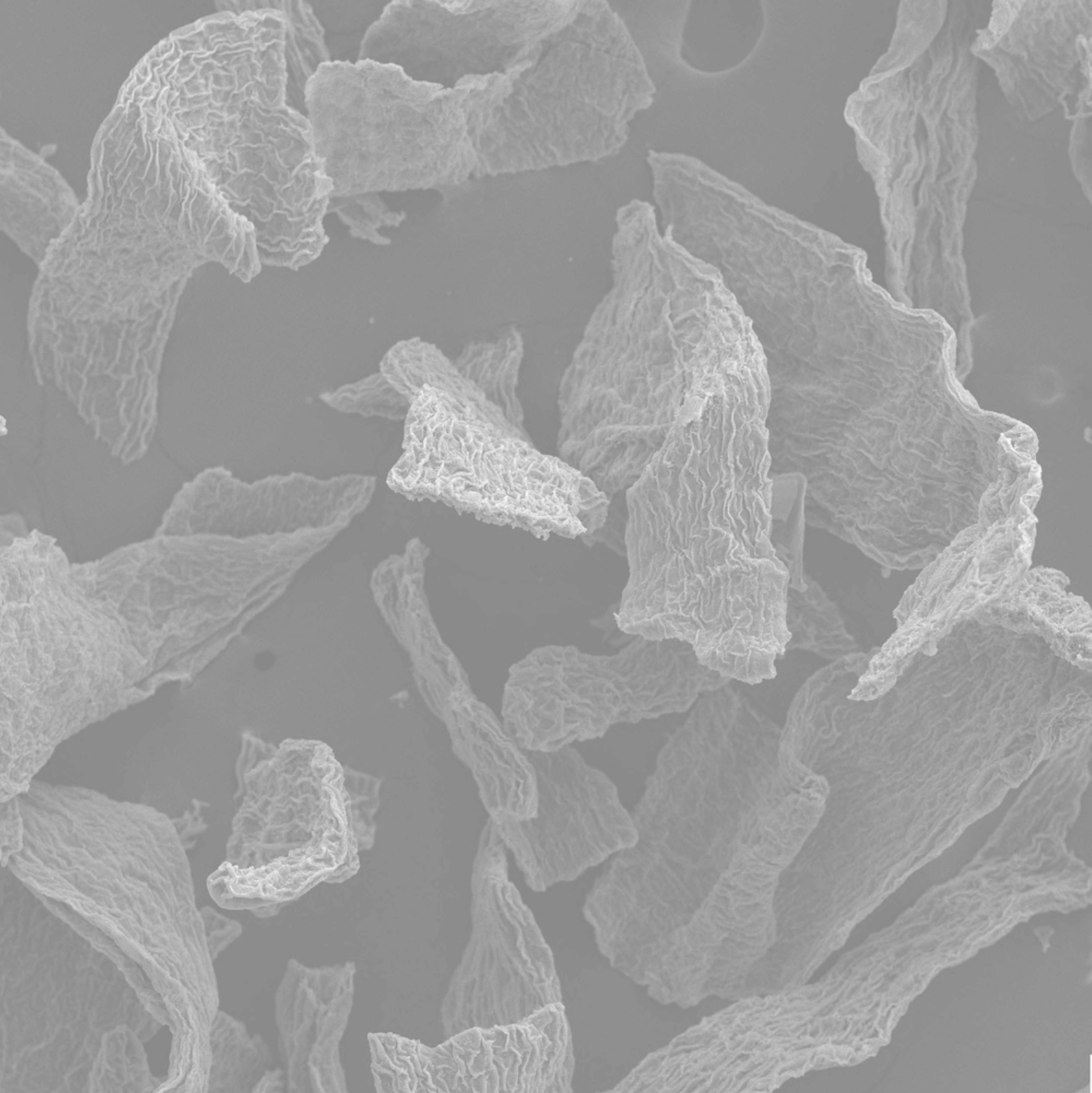
UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

Trabajo de Fin de Grado - Aula 1
Coordinadora: María Esther Moreno Fernandez
Raquel Álvarez Rodriguez

Título : “Empleo del alga *Rugulopteryx Okamurae* como
material de construcción”

Departamento: Construcción y Tecnología Arquitectónica
Autor: Miguel Pascual Álvarez
Tutora: María Esther Moreno Fernández

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
9 de Enero de 2026



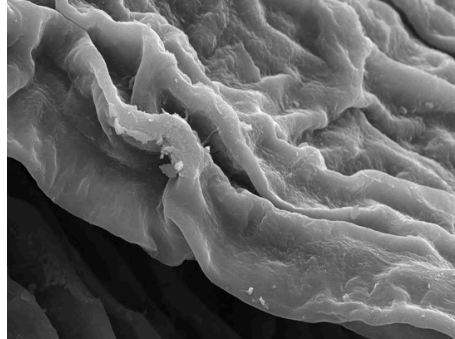
A mi madre, Cristina, por darme la idea inicial, por su ayuda constante y su apoyo incondicional en todo momento. Gracias por estar siempre presente.

A María Esther Moreno, por su motivación y su guía experta a lo largo de todo este proceso.

A Sofía y Carmen, por su valiosa ayuda en la realización de los prototipos, la corrección de los textos y sus acertados consejos estéticos.

A mis abuelas, a mi padre, mi hermana y a mi tía María Jesús.

A Lucas por la ayuda en la realización de ensayos acústicos



ÍNDICE

- ❶ Resumen
- ❷ Introducción
 - Motivación
 - Objetivos
 - Metodología
- ❸ Marco teórico
 - Contexto
 - Biología
 - Análisis microscopio óptico
 - Ciclo de vida
 - Residuo
 - Materia prima
 - Listado LER
- ❹ Casos de estudio
 - Empleo de diferentes algas en la construcción
- ❺ Proceso experimental
 - Recolección
 - Caracterización del material
 - Proceso de recolección, lavado y secado (1 Y 2)
 - Análisis microscopio electrónico (1 Y 2)
 - Fabricación de probetas
 - Ensayos acústicos y térmicos
- ❻ Comentarios y conclusiones
- ❼ Futuras líneas de investigación
- ❽ Bibliografía

Resumen



Este trabajo procura demostrar el potencial empleo del alga invasora *Rugulopteryx okamurae* como material de construcción, ya sea mediante su uso en estado puro o a través de la creación de biocomposites desarrollados a partir de la hibridación de esta biomasa con otros materiales de construcción ya existentes. Además, se abre una puerta hacia una solución frente a las millones de toneladas de residuo que deja este alga en los litorales de España.

La recolección del alga es un factor fundamental para llevar a cabo esta investigación. Para ello, se realizó un viaje hasta Tarifa (foco de arribazones desde 2015), hallando grandes cantidades de biomasa disponible en sus costas.

Para analizar cómo se tratan e integran a día de hoy diferentes algas en el mundo de la construcción, se realiza una revisión documental exhaustiva que dará paso a diferentes líneas de desarrollo.

La fabricación de una gran cantidad de probetas con las que llevar a cabo caracterizaciones técnicas mediante ensayos térmicos y acústicos será el punto culminante del trabajo, consiguiendo sacar conclusiones positivas para proseguir el estudio en futuras investigaciones

Motivación



Mi vínculo personal con este proyecto nace de mi procedencia y crianza en Cádiz y mi posterior etapa en la isla de Tenerife en la cual vivo a día de hoy. Desde que cumplí los 16 años de edad (2016) las costas de estos dos lugares se ven afectadas por la invasión del alga *Rugulopteryx Okamurae*, formando grandes arribazones y destruyendo los ecosistemas marinos con los que llevo creciendo toda mi vida.

El nacimiento de la idea para realizar este trabajo viene de mi madre, que por causas del destino decidió construir su vivienda en Puerto Real, Cádiz. Con esto en mente, me propuso el empleo de estas algas que tantos residuos dejan en las costas gaditanas en su vivienda, facilitándome el primer muestreo de algas secas empleado en este trabajo.

Con esta premisa, y sin saber muy bien el camino al que me llevaría, comencé la investigación y desarrollo de materiales a partir de este alga y, junto a este trabajo, comenzó a nacer en mí una ambición lejana: conseguir que este material tenga cabida comercial en el mundo de la construcción para que su empleo en masa haga desaparecer de manera casi inmediata los residuos en las costas, ya que, atendiendo a la realidad socioeconómica actual, el dinero es lo que mueve el mundo y la rentabilidad es el motor necesario para garantizar la regeneración ambiental.

Introducción



La globalización y el cambio climático han propiciado la intrusión de especies no autóctonas en diferentes biomas del mundo. El carácter invasivo de algunas de estas especies, generan grandes desequilibrios ecosistémicos acabando, en el peor de los casos, con las especies locales. La especie objeto de estudio será el alga originaria de las costas de Asia; *Rugulopteryx Okamurae*, alga invasiva que está colonizando las costas de nuestra península y genera toneladas de residuos biomásicos en todo el litoral.

En paralelo a esto, la sociedad se halla inmersa en un consumo desmedido acompañado de una producción excesiva que demanda una gran cantidad de recursos naturales. Esta problemática genera una de las principales causas de la crisis medioambiental que está sacudiendo nuestros ecosistemas, especialmente por la dependencia de materiales de alta huella hídrica y energética. De esta manera queda reflejada la creciente necesidad de replantear el uso de los materiales y los procesos que llevamos a cabo a la hora de procesarlos.

Con este preámbulo, la investigación de alternativas sostenibles se vuelve imprescindible, surgiendo así un gran interés por la utilización de organismos biológicos como fuente de innovación material.

Introducción



Los productos de construcción que empleamos actualmente provienen en gran parte de fuentes no renovables y estamos muy lejos de conseguir una verdadera circularidad dentro de este proceso. La industria de la edificación es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones globales de CO₂, debido principalmente a la alta energía embebida en la extracción y procesamiento de materiales pétreos y derivados del petróleo. Ante la urgencia de descarbonizar el sector, la arquitectura contemporánea está virando hacia la biofabricación, explorando recursos biogénicos que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que actúen como sumideros de carbono activos al fijar el dióxido de carbono en la estructura sólida del edificio. Por ello se están buscando, cada vez con más insistencia, biomateriales y procesos sostenibles circulares que sustituyan los materiales convencionales que venimos empleando a día de hoy. .

En este trabajo se procura transformar el problema de la macro alga parda, que está devastando las costas ibéricas, en una solución que, mediante la investigación y fabricación de probetas, buscará convertir este residuo en un biomaterial apto para el uso en el mundo de la construcción.

Objetivos



La costumbre y comodidad a la hora de usar materiales convencionales impiden el desarrollo de alternativas con un enfoque más circular, por ello se pretende entrar en un análisis sobre las posibilidades que ofrece el alga *Rugulopteryx Okamurae* en el mundo de la construcción.

Este trabajo procura abordar los siguientes objetivos:

- Redactar una metodología de recolección de especímenes varados en playas o flotando en los litorales, para su posterior desalación, limpia y puesta a punto para su utilización.
- Demostrar la versatilidad de los materiales y elementos constructivos derivados del alga *Rugulopteryx Okamurae*.
- La realización de probetas con diferentes materiales de construcción, mezclados con el alga con diferentes proporciones, para demostrar la consistencia y sus posibles aplicaciones acústicas y térmicas.
- Comprobar sus características químicas al mezclar el alga con diferentes materiales convencionales.
- Realizar ensayos múltiples como térmicos, acústicos y mecánicos, evaluando las probetas con diversas metodologías de análisis.

Metodología



En este trabajo de fin de grado se ha seguido la siguiente metodología dividida en cinco fases.

En primer lugar se genera un acercamiento mediante un análisis de la especie y su comportamiento e impacto como taxón invasor. El tipo de investigación en esta etapa es mixta, recogiendo información sobre su reproducción, ciclo de vida, papel como especie invasora, y la problemática ambiental que genera en nuestro país y el resto de países afectados, evaluando la gran facilidad adaptativa que le permite desplazar a la biodiversidad autóctona .

La segunda fase aúna toda la información anteriormente recopilada, y la relaciona directamente con el Listado Europeo de Residuos, entendiendo y clasificando el alga como un subproducto dentro de esta lista. El fin de esta inserción viene dado por el interés de entender el arribazón en las costas de *Rugulopteryx okamurae* como un residuo, el impacto que produce como tal y las posibilidades que abre frente al mundo de la construcción y los biomateriales para darles una segunda vida útil y reducir el impacto ambiental.

Metodología



En el tercer paso se recopila información sobre los usos históricos y actuales en la construcción donde se implemente el uso de algas como residuo, para analizar los precedentes que se llevarán a cabo con *Rugulopteryx* y los caminos que se pueden trazar en la experimentación, estudiando cómo sus polímeros naturales pueden ser de utilidad a la hora de realizar diferentes mezclas con el alga y otros materiales.

Con la investigación tanto cualitativa como cuantitativa anteriormente realizada, comienza la cuarta fase: la caracterización física del alga. Para esta etapa, se realizó una recolección de especímenes en las costas de Cádiz. Posteriormente se realizó un lavado y secado controlado para evitar que agentes higroscópicos interfieran en el análisis. Se pulverizó una parte de las muestras y la otra se conservó en fibras con el fin de realizar los experimentos con dos granulometrías diferentes, para que al generar probetas se pueda comprender qué textura interesa más al producto final.

La investigación concluye con la creación de diecisiete probetas de biomateriales. En esta quinta fase se experimenta con el alga de manera aislada, mezclada con tres materiales de construcción y con pulpa de papel. Además, se analiza mediante ensayos sus capacidades térmicas, acústicas, con el fin de validar su rendimiento técnico como composite biogénico.

Marco teórico



Para conocer este macro alga y su papel invasor en nuestras costas, primero hay que comprender cómo se desenvuelve en su lugar de origen, como se reproduce, y por qué no se comporta de manera invasiva en sus costas nativas.

“Originaria del pacífico noroccidental, se encuentra ampliamente distribuida en las zonas templadas de las costas de Filipinas, Taiwán, China, Corea y Japón (Huang, 1994). Más recientemente, Norris (2010) la cita también en el golfo de California, área que podría representar su límite natural de distribución (García-Gómez et al., 2021)”



Fig.1. Fuente: Miteco. Mapa de zonas nativas del alga *Rugulopteryx Okamurae*.

En su hábitat natural, esta especie compete contra una gran biodiversidad, además de poseer depredadores que la consumen, por lo que su reproducción se encuentra controlada y no predomina sobre el resto. Los lechos marinos rocosos, bien iluminados y con poca pendiente son el escenario más favorable para ésta especie, y quedan registradas en su lugar de procedencia, profundidades de hasta 15 metros.

Contexto



En 2002 se avistó por primera vez en la laguna costera de Étang de Thau, en Francia. Más tarde fue registrada el 2015 en el estrecho de Gibraltar, y desde entonces no ha cesado su expansión. *Rugulopteryx Okamurae* ya ha colonizado el litoral ibérico este 2025, y se han registrado sus arribazones desde el mar cantábrico hasta las costas de Cataluña. Su potencial como invasora le está permitiendo ampliar sus fronteras, llegando a encontrarse en las costas de Marruecos, Portugal, Italia, las Azores, Madeira, Canarias y Baleares, siendo notorias las favorables condiciones de estas zonas para su proliferación.

La teoría más probable de la llegada del alga auspicia una bioinvasión marina por agua de lastre. Los barcos utilizan el agua de lastre para jugar con el volumen de aire y agua de su interior para equilibrar pesos, recogiendo agua cuando lleva poca carga y expulsando cuando tiene demasiada, con lo que en ocasiones cargan agua del puerto de salida (costas asiáticas nativas de *Rugulopteryx*) y descargan en el puerto de llegada (estrecho de Gibraltar).

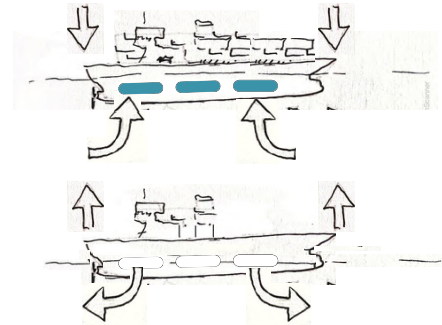


Fig 2. Elaboración propia. Dibujo esquemático del sistema hidráulico de un barco en el que se representa el intercambio de agua de lastre mediante entrada y salida de aguas.



Fig 3. Elaboración propia. Fotografía de espécimen recogido del fondo marino en la Isla de Tenerife.

Contexto



(2) The Commission has concluded, on the basis of the available evidence and the risk assessments carried out pursuant to Article 5(1) of Regulation (EU) No 1143/2014, that all criteria set out in Article 4(1) of that Regulation are met for the following invasive alien species: *American mite* (Rafinesque, 1820), *Ara* spp. (Erichson, 1775), *Callinectes* (Pulmonari) (Hessfeldt, 1823), *Celastrus orbiculatus* Thunb., *Chamae arbus (Carrut, 1842)*, *Phoronis rustica* (Gérard) 1852), *Fundulus heteroclitus* (Linnaeus, 1766), *Gambusia affinis* (Boulé & Girard, 1853), *Gambusia holbrooki* Girard, 1859, *Haliotis varicosa* Schrad. & J.C. Neubl., *Keokoua polyastria* (Wall. ex Meisn.) T.M.Schult. & Ravenel, *Lamprologia geniv* (Linnaeus, 1766), *Lamprologia foveolata* (Dunker, 1857), *Morone americana* (Günther, 1789), *Planis striatatus* L., *Pyrenostoma cafer* (Linnaeus, 1766), *Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim, 2009, *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804), *Solenopsis invicta* Burze, 1972, *Solenopsis rickstoni* Foell, 1909, *Stenonema compressum* (Ruge, 1863) and *Stenopus laevis* (Dana, 1802).

Dada esta expansión sin precedentes el Ministerio de la Transición Ecológica (2013) en cumplimiento del artículo 64.7 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad ha incluido este alga en el Catálogo español de especies exóticas invasoras, impulsando una estrategia nacional para mitigar, gestionar, controlar e incluso erradicar su proliferación.

Además, recientemente se añade también al listado de Especies exóticas preocupantes para la Unión Europea, (Reglamento UE 2022/1203) reflejando el enorme impacto y preocupación que está generando a nivel internacional. También figura en CIESM Atlas of exotic species of the Mediterranean Macrophytes (Verlaque et al. 2015).

Species	CN codes for live specimens	CN codes for parts that can reproduce	Categories of associated goods
00	000	000	093
<i>American mite</i> (Rafinesque, 1820)	ex 0301 99 17	ex 0511 91 90 (shell-fish eggs for hatching)	
<i>Ara</i> spp. (Erichson, 1777)	ex 0106 19 00	-	
<i>Callinectes</i> (Pulmonari) (Hessfeldt, 1823)	ex 0106 19 00	-	
<i>Chamae arbus</i> (Carrut, 1842)	ex 0301 11 00 ex 0301 99 17	ex 0511 91 90 (shell-fish eggs for hatching)	
<i>Phoronis rustica</i> (Gérard, 1852)	ex 0306 39 10	-	
<i>Gambusia affinis</i> (Boulé & Girard, 1853)	ex 0301 11 00 ex 0301 99 17	ex 0511 91 90 (shell-fish eggs for hatching)	14'
<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	ex 0301 11 00 ex 0301 99 17	ex 0511 91 90 (shell-fish eggs for hatching)	14'
<i>Haliotis varicosa</i> Schrad. & J.C. Neubl.	ex 0602 90 50	ex 1209 99 99 (snails)	25'
<i>Keokoua polyastria</i> (Wall. ex Meisn.) T.M.Schult. & Ravenel	ex 0602 90 50	ex 1209 99 99 (snails)	25'
<i>Lamprologia geniv</i> (Linnaeus, 1766)	ex 0106 20 00	-	35'
<i>Lamprologia foveolata</i> (Dunker, 1857)	ex 0301 91 00	-	
<i>Morone americana</i> (Günther, 1789)	ex 0301 99 17 ex 0301 99 83	ex 0511 91 90 (shell-fish eggs for hatching)	14'
<i>Pyrenostoma cafer</i> (Linnaeus, 1766)	ex 0106 39 00	ex 0407 19 90 (shell-fish eggs for incubation)	
<i>Rugulopteryx okamurae</i> (E.Y. Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim, 2009	ex 1212 29 00	-	14a, 15f'
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	ex 0306 49 00	-	35, 47'

Tabla 2. Fuente: listado de Especies exóticas preocupantes para la Unión Europea. Resaltada el alga *Rugulopteryx okamurae*.

Tabla 3. Fuente: Catálogo Español de especies exóticas invasoras. Resaltada el alga *Rugulopteryx Okamurae*

Grupo taxonómico	Rango taxonómico	Nombre científico CEEI /BOE	Nombre científico actualizado	Ámbito de aplicación	Nombre común	Norma
Hongos	especie	Batrachochytrium dendrobatidis			Qu it ridi o	Real Decreto 630/2013
Algas	es pe	Acrothamnion preissii (Sonder) Wollaston.				Real Decreto 630/2013
Algas	cie es	Asparagopsis armata (Harvey, 1855).				Real Decreto 630/2013
Algas	pe cie	Asparagopsis taxiformis [(Delile) Trevisan de Saint-Léon, 1845].		Excepto Canarias.		Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie cie	<i>Caulerpa racemosa</i> [(Forssk.) J. Agardh, 1873].		Excepto Canarias.		Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Caulerpa taxifolia</i> [(M.Vahl) C. Agardh, 1817].				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Codium fragile</i> [(Suringar) Hariot, 1889].				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M. Schmidt, 1899.			Didymo o moco de roca	Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	Papenfuss <i>Agarophytum vermiculophyllum</i> Gurgel, J.N. Norris et Fredericq			Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Grateloupia turuturu</i> (Yamada, 1941).				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Lophocladia lallemandii</i> (Montagne) F. Schmitz 1893.				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Rugulopteryx okamurae</i> (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee & H.S. Kim 2009			Alga asiática	Orden TED/1126/2020
Algas	es pe cie	<i>Sargassum muticum</i> [(Yendo) Fensholt, 1955].				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Styppodium schimperii</i> (Buchinger ex Kützinger) Verlaque & Boudouresque, 1991).				Real Decreto 630/2013
Algas	es pe cie	<i>Udardia pinnatifida</i>			Wakame	Real Decreto 630/2013

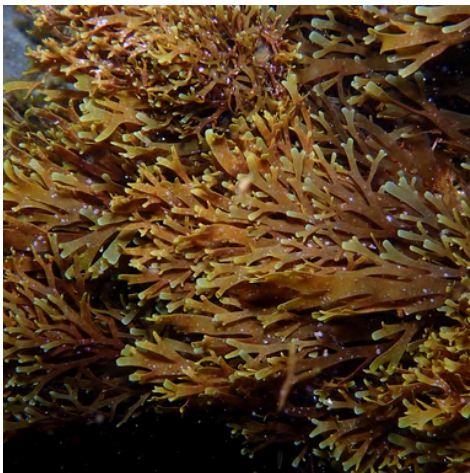
Biología



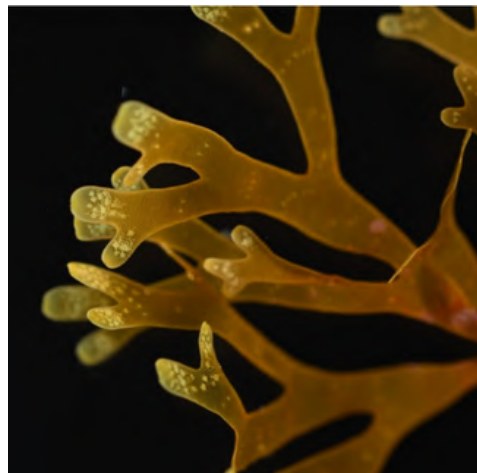
ESPÉCIMEN

Rugulopteryx okamurae es una macroalga perteneciente al reino Chromista, en la subdivisión de algas pardas, Filo Ochrophyta, clase Phaeophyceae, orden Dictyotales, y la familia de las Dictyotaceae.

Un vistazo a su morfología como individuo a escala real, nos muestra un alga conformada por talos acintados con una ramificación dicótoma apical, semejante a un índice y un pulgar, distintivo que ayuda a identificar esta especie. Al ser un alga feofita, es un organismo multicelular fotosintético que se desarrolla en ambientes marinos fríos o templados, actuando como una especie ingeniera con gran capacidad de colonización del sustrato. Se aferra al fondo marino rocoso mediante un sistema de fijación formado por estolones cilíndricos que aseguran su estabilidad frente al hidrodinamismo marino.



*Fig 4. Fuente. biodiversidadcanarias
Imagene de Rugulopteryx
Okamurae aferrada en el
lecho marino.*



*Fig 5. Fuente. biodiversidadcanarias
Imagene talo acintado
Rugulopteryx Okamurae, se puede
apreciar la característica
ramificación dicotoma*

Un vistazo a su estructura como individuo a escala real, nos muestra un alga conformada por talos acintados, con una ramificación dicótoma, semejante a un índice y un pulgar, distintivo que ayuda a identificar esta especie. Al ser un alga feofita es un organismo multicelular fotosintético que se desarrolla en ambientes marinos fríos o templados. Se aferra al fondo marino rocoso mediante un sistema de fijación formado por estolones.

Biología



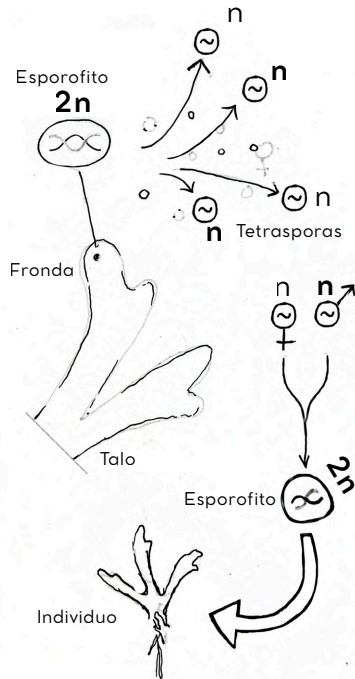
*Fig 6. Fuente. biodiversidadcanarias
Imagene talo acintado Rugulopteryx
Okamurae, se puede apreciar la
característica ramificación dicotoma*

Biología



CICLO DE VIDA

Este alga se reproduce mediante tres estrategias principales, mecanismos sexuales (tetrasporas meióticas), mecanismos asexuales (monósporas mitóticas) y por mecanismos vegetativos, formando propágulos (clones).



Reproducción sexual

La reproducción sexual consiste en la producción de tetrasporas, células resultantes de un proceso meiótico, es decir, una división reduccional del material genético. Dichas tetrasporas se desarrollan en estructuras llamadas tetrasporangios, situadas en los talos de la macroalga. Más tarde, cada tetraspora podrá germinar y formar gametofitos de ambos sexos que producirán gametos para su posterior fecundación, dando origen a un nuevo esporofito diploide que podrá repetir el ciclo.

Este tipo de mecanismo reproductivo es común en su entorno nativo, pero no suele observarse con frecuencia en poblaciones introducidas, probablemente por la falta de gametofitos funcionales o porque las condiciones ambientales no son óptimas para la maduración de los órganos sexuales. Esta ausencia de reproducción sexual en las costas invadidas sugiere que la expansión de la plaga se debe principalmente a las dos estrategias que se explicarán a continuación.

Fig 7. Fuente: Elaboración propia. Dibujo y diagramas explicativos de la reproducción sexual de *Rugulapteryx Okamurae*.



IMAGEN REPRODUCCIÓN ASEXUAL

La reproducción asexual se realiza mediante la generación de monósporas, células reproductivas que se producen por mitosis, es decir, sin recombinación genética. Dichas monósporas se liberan y, al fijarse al sustrato adecuado, germinan directamente formando nuevos individuos clónicos.

Este tipo de mecanismo reproductivo es altamente eficiente y frecuente en ambientes con alta disponibilidad de irradiación y nutrientes. En las costas del Mediterráneo, este proceso resulta más efectivo que la reproducción sexual, consolidándose como una de las principales vías de dispersión rápida y colonización masiva del litoral.

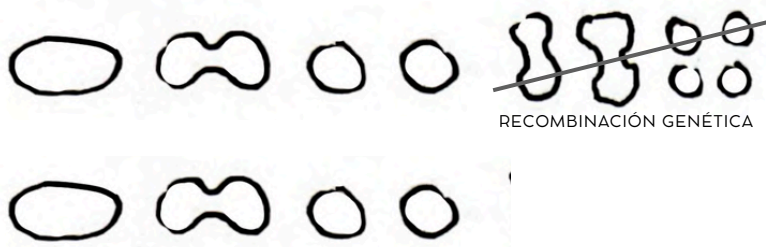


Fig 8. Fuente: Elaboración propia. Diagrama reproducción asexual *Rugulopteryx Okamurae*.

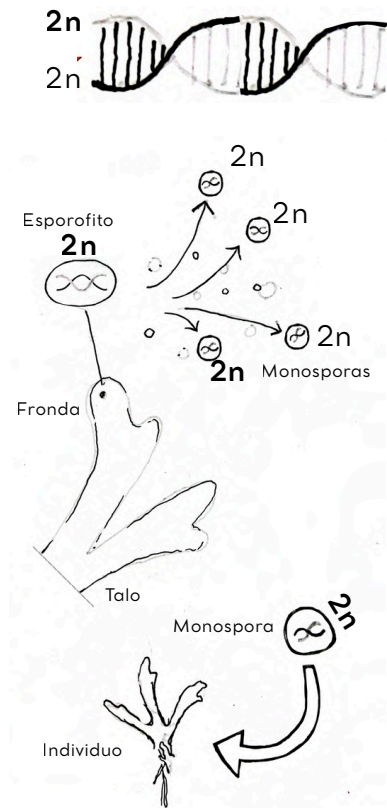


Fig 9. Fuente: Elaboración propia. Dibujo explicativo de la reproducción asexual de *Rugulopteryx Okamurae*.



IMAGEN REPRODUCCIÓN

La reproducción vegetativa consiste en el desprendimiento de propágulos o fragmentos del alga que más tarde se regeneran como un individuo completo. Estos fragmentos funcionan como diásporas vegetativas que pueden sobrevivir durante semanas desplazándose con las corrientes, colonizando puntos muy lejanos del océano. Este mecanismo no requiere estructuras especializadas y los nuevos individuos son clones exactos del original, lo que maximiza su tasa de supervivencia.

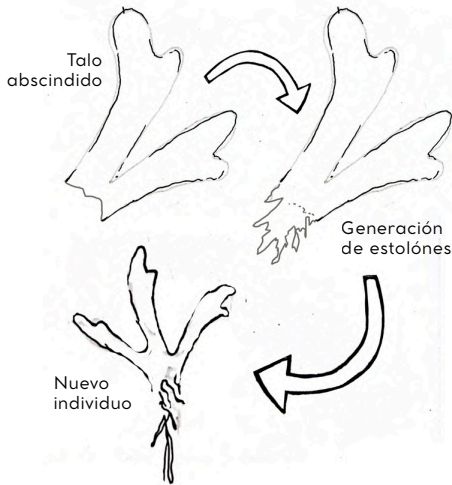


Fig 10. Fuente: Elaboración propia. Dibujo explicativo de la reproducción vegetativa de *Rugulopteryx Okamurae*.

Este tipo de mecanismo reproductivo es el método más eficaz y dominante en las poblaciones invasoras. Los fragmentos que se desprenden por hidrodinamismo (olas y corrientes), cambios de temperatura o la actividad humana (pesca, anclas, redes) permiten una dispersión extremadamente rápida. Este proceso de fragmentación mecánica es el principal responsable de los arribazones masivos, convirtiendo cada residuo arrastrado por el mar en una fuente potencial de nueva biomasa.

Biología



En cuanto al lugar de proliferación son múltiples los factores que influyen en su crecimiento. Los lechos rocosos sublitorales conformados por roca dura, calcárea o arenisca compacta son los más óptimos para su desarrollo, habiéndose hallado especímenes incluso en escombros sumergidos.

Otra condición importante es la profundidad, siendo muy positivas las zonas bien iluminadas entre 0,5 y 5 metros, hasta los 15 metros de profundidad en su área nativa. En el Mediterráneo y la zona del estrecho de Gibraltar se han registrado profundidades de hasta 30-40 metros siendo la máxima un registro de 48 m de profundidad, como epífita de corales en el Mediterráneo occidental.

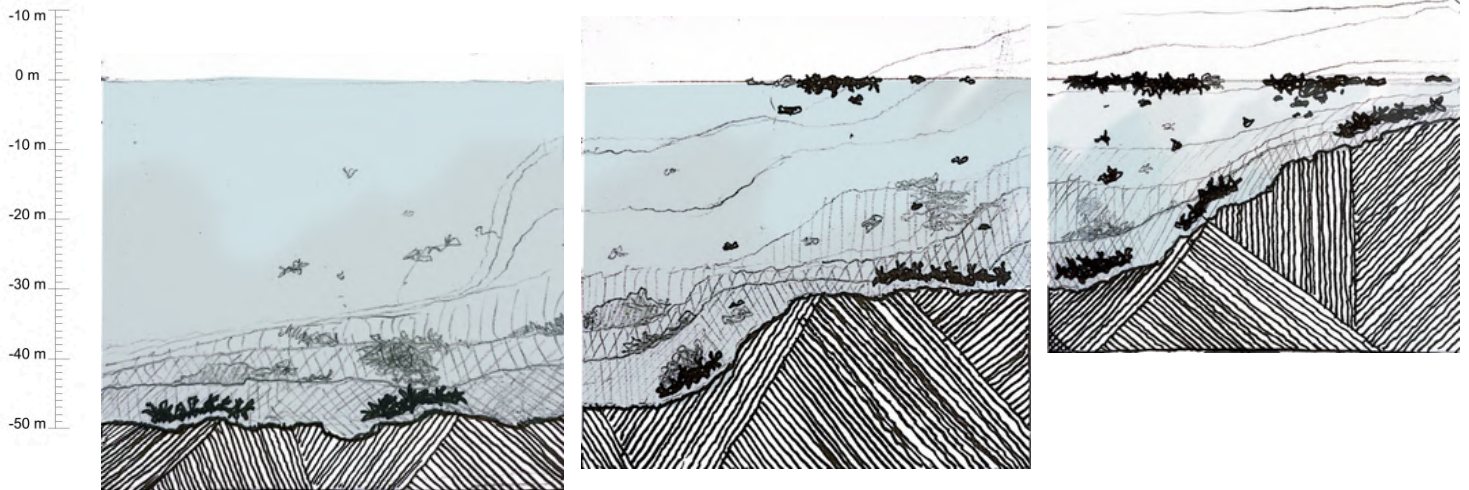


Fig 11. Fuente: Elaboración propia. Dibujo explicativo del ciclo de vida de R. O. por profundidades.



PROBLEMÁTICA

Está última estrategia funciona especialmente bien en las costas donde se introduce, siendo los mecanismos clónicos su principal mecanismo de reproducción, suceso que explica su proliferación masiva. Para entender la escala y magnitud reproductiva de esta especie en zonas introducidas, un solo individuo puede realizar seiscientos copias de sí mismo, con tal rapidez que llega a repetir esta estrategia hasta seis veces en un mismo año, alcanzando densidades de entre 1000 y 3000 individuos por metro cuadrado.



Fig 12. Fuente: Elaboración propia. Dibujo esquemático arribazón de *Rugulopteryx*.

El éxito de *Rugulopteryx Okamurae* viene de este mecanismo de reproducción que se hace más efectiva aún cuando, mediante el cambio de temperatura o con el oleaje, desprende cantidades masivas de biomasa, que va a flote formando mantos sobre la superficie marina. Así propagan y colonizan superficies lejanas, generando en su última etapa de vida, toneladas de residuos biomásicos que llegan a modo de arribazón a las costas de la península (y el resto de lugares).

Este último punto será la conexión con el mundo de la construcción, comprendiendo estos residuos como una materia prima.

Materia Prima



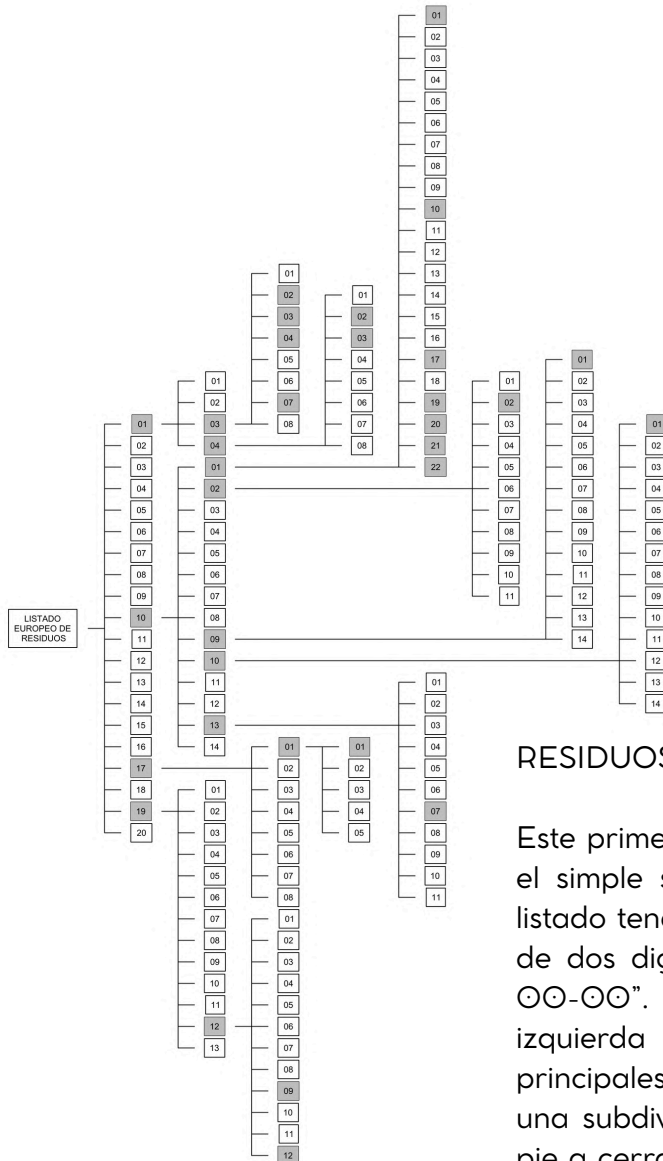
RESIDUO

Dado el carácter residual que se busca otorgar a los restos biomásicos que genera *Rugulopteryx okamurae* en las costas y la intencionalidad de su incorporación en materiales de edificación, se entiende este residuo como una materia prima secundaria. Para determinar su encaje en este concepto, se llevará a cabo un estudio sobre el Listado Europeo de Residuos (LER), en el que primero se abordarán los residuos ya empleados en el sector de la construcción y, segundo, se analizarán los posibles epígrafes para catalogar esta especie dentro del listado. Esta clasificación es fundamental para validar su transición de desecho ambiental a recurso constructivo bajo un marco legal de economía circular.

LISTADO EUROPEO DE RESIDUOS

El Listado Europeo de Residuos (LER) es una recopilación establecida por la Decisión 2000/532/CE que clasifica los residuos generados por actividades humanas según su procedencia sectorial, proceso de generación y peligrosidad. Esta codificación permite estandarizar la gestión de desechos a nivel comunitario, facilitando la trazabilidad y el tratamiento adecuado de cada subproducto.

Materia Prima



RESIDUOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Este primer análisis requiere comprender en que consiste el simple sistema de catalogación. Cada elemento del listado tendrá asociado una consecución de tres números de dos digitos dispuestos de la siguiente manera: “00-00-00”. De izquierda a derecha empezando por la izquierda los primeros números categorizan los principales grandes grupos de residuos, continuado por una subdivisión hacia grupos más específicos que darán pie a cerrar la serie con el residuo catalogado en LER. A continuación se explicarán los 4 principales grupos que más se emplean para su incorporación en materiales de construcción.

Fig 13. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos empleados en la construcción.

Materia Prima



01.03.02 01.03.03 01.03.04 01.03.07 01.04.02 01.04.03

01-Prospección y extracción de minas

-04- Lodos y otros residuos de perforaciones

01- Lodos y residuos de perforaciones que contienen hidrocarburos.

01-Residuos de la actividad minera:

Su principal uso será el de Relleno o apilado de restos de la minería dado que las toneladas de piedra residual que genera ésta industria solo en España 2.500 millones de toneladas de roca estéril descansan en escombreras, con lo que su aplicación en el mundo de la construcción resultará en una gran solución frente a volúmenes grandes de material. Aunque en el caso de los lodos, estos serán muy efectivos a la hora de la fabricación de ladrillos, tejas y cemento, aportando materia orgánica que ayudará a reducir la energía en la cocción.



Fig 14. WEB AGOlabs Fotografía de rocas residuales de la industria de la minería en una cinta transportadora.

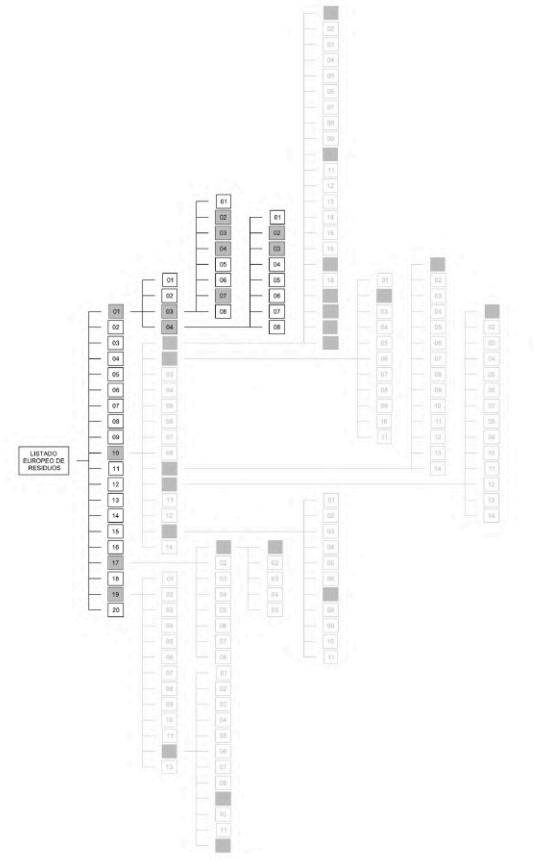


Fig 15. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos de la actividad minera.

Materia Prima



10.01.01 10.01.10 10.01.17 10.01.19 10.01.20 10.01.21 10.01.22 10.02.02 10.10.01 10.13.07

10-Residuos de procesos térmicos

-01- Residuos de la industria del hierro y del acero

01- Residuos del tratamiento de escorias

10-Residuos de procesos térmicos

Este grupo engloba cenizas, escorias, polvo de horno y otros subproductos derivados de la combustión o la fusión de materiales. Son residuos habitualmente destinados como adiciones minerales, áridos reciclados o componentes estabilizantes debido a sus propiedades químicas y a su granulometría. En la construcción, su utilización permite reducir el consumo de materias primas recién extraídas reduciendo su consumo además de mejorar diferentes prestaciones.

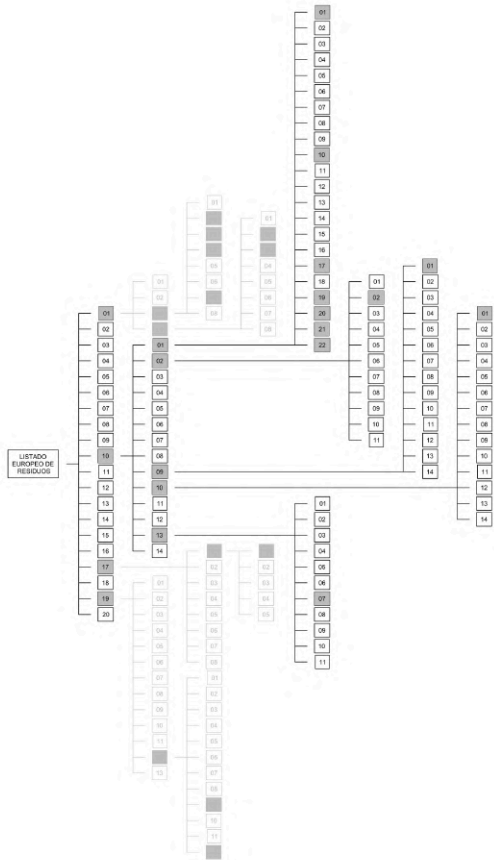


Fig 16. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos de procesos térmicos.



19-Tratamiento de residuos y aguas

-12-Residuos de la incineración o pirólisis de residuos

-09 Tratamiento mecánico de residuos

19.12.09 19.12.12

19-Tratamiento de residuos y aguas

Su composición estabilizada y los procesos previos de depuración hacen de este grupo de residuos un gran contribuyente en la fabricación de materiales de construcción como aditivos activos en la fabricación de cementos y clínker. Las cenizas volantes y escorias, por su alto contenido en sílice y alúmina, actúan como puzolanas que mejoran la durabilidad y resistencia química de hormigones y prefabricados. Asimismo, los lodos tratados y las fracciones inertizadas se utilizan para la creación de áridos ligeros artificiales y rellenos en infraestructuras viarias, permitiendo el encapsulamiento de componentes y reduciendo drásticamente el impacto ambiental de los vertederos.

Fig 20. WEB retema. Fotografía de planta de depuración de aguas contaminadas.



Fig 19. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos generados por el tratamiento de residuos y aguas.

Materia Prima

Rugulopteryx Okamurae como materia prima

Para incluir RO en el listado LER se puede interpretar éste desde múltiples puntos de vista. En primer lugar, el simple hecho de que *Rugulopteryx Okamurae* haya llegado por las actividades del comercio marítimo mediante la ya comentada bioinvasión

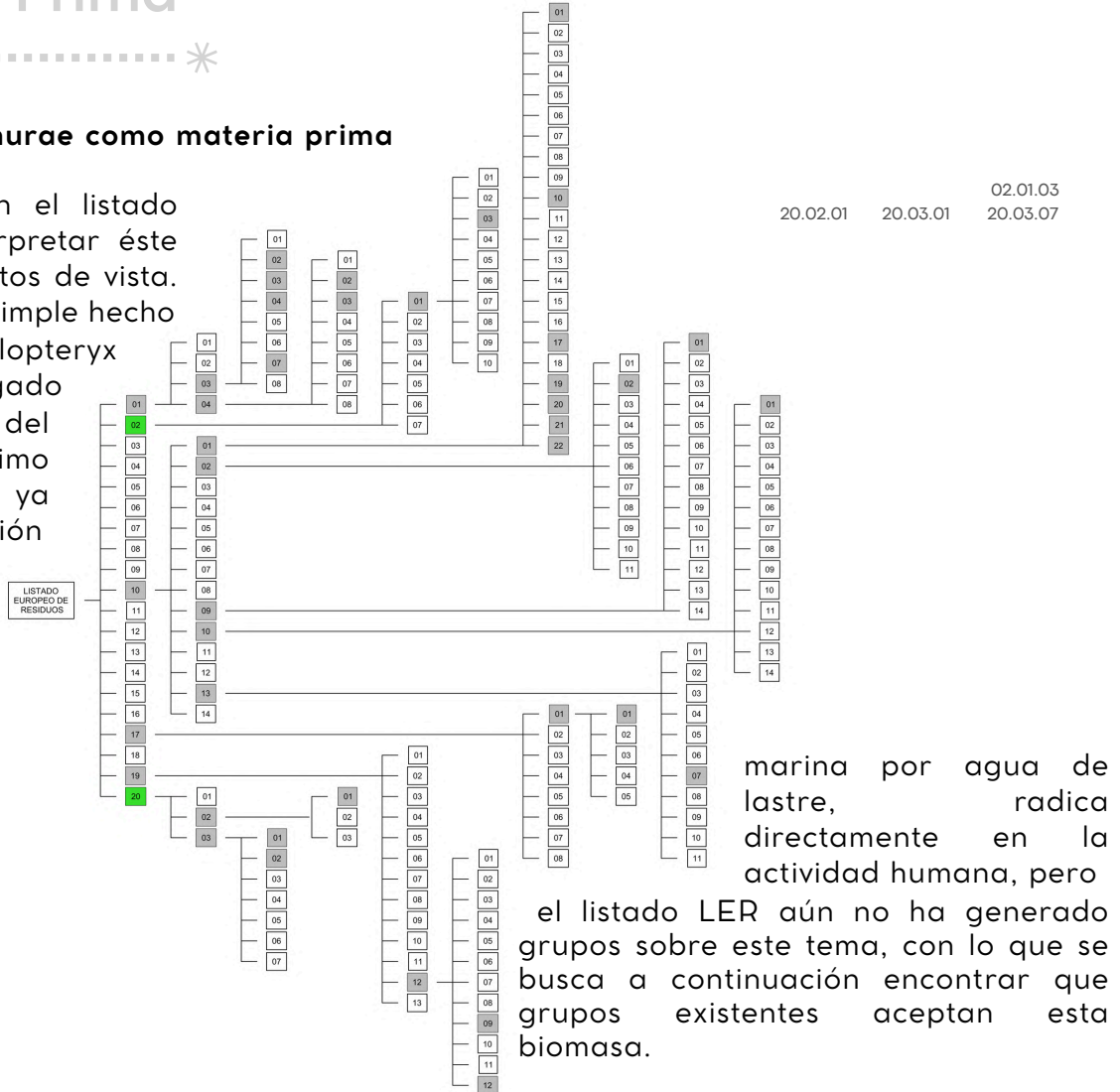


Fig 21. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los dos grupos en los que se pueden añadir los residuos biomásicos de *Rugulopteryx Okamurae*.

marina por agua de lastre, radica directamente en la actividad humana, pero

el listado LER aún no ha generado grupos sobre este tema, con lo que se busca a continuación encontrar que grupos existentes aceptan esta biomasa.

Dentro del listado LER, existen dos Grupos principales que pueden reconocer estos restos como residuos, el 02 y el 20.

Materia Prima

*

Materia Prima



02.01.03

⊙2-Residuos industria alimentaria

-⊙1-Residuos de la pesca

-⊙3-Tejidos vegetales

⊙2-Tratamiento de residuos de pesca

La industria de la pesca es uno de los sectores económicos más importantes en la Provincia de Cádiz. Su actividad se está viendo afectada directamente con el incremento y expansión de *Rugulopteryx Okamurae*, enredándose toneladas de éste alga en las redes de los barcos de pesca. Al ser un material que es muy difícil de desenredar, normalmente llegan a puerto, convirtiéndose directamente en residuos por actividades pesqueras, que relacionan las algas con los residuos vegetales.

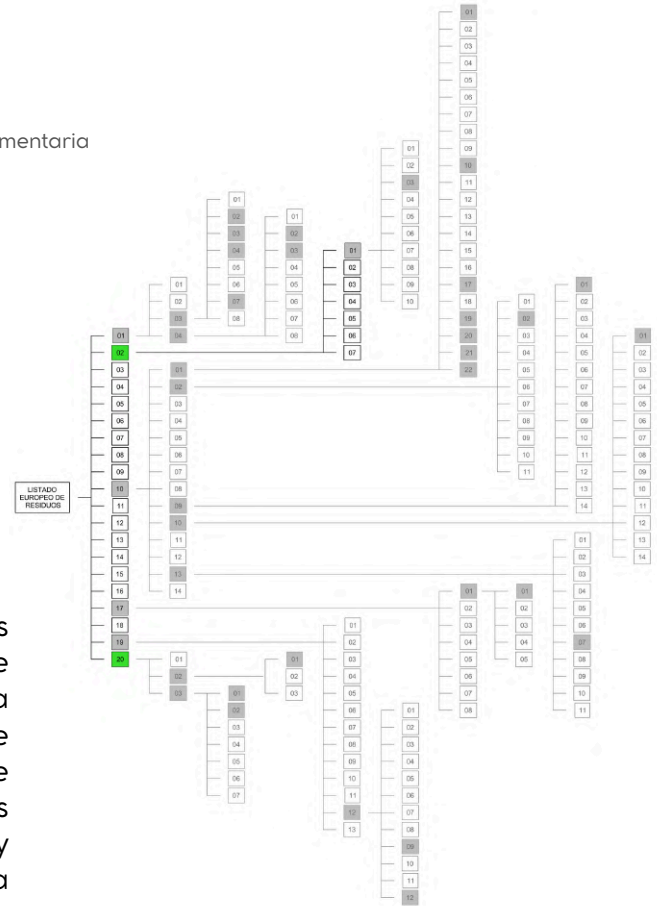
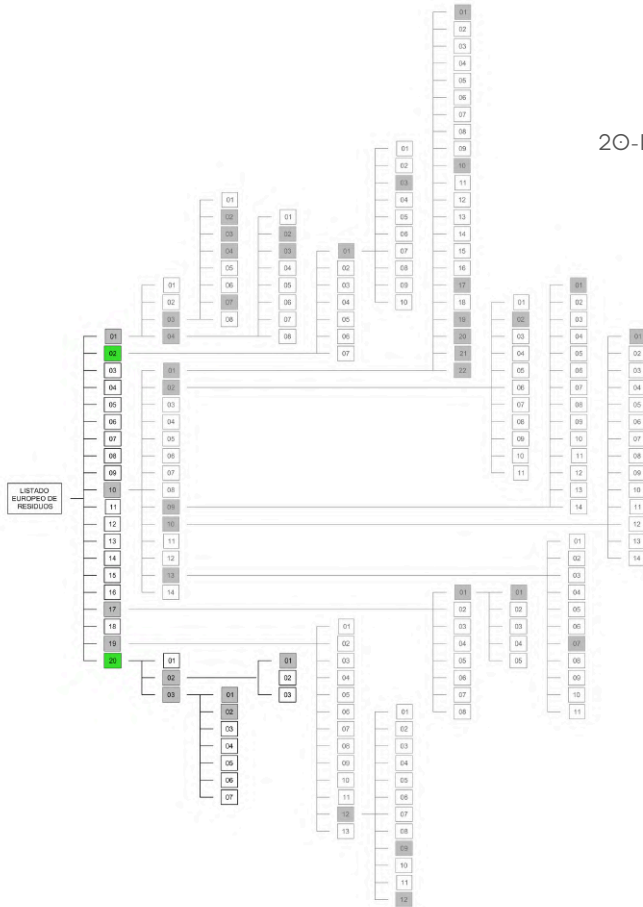


Fig 22. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos derivados de la pesca.

Materia Prima



20.02.01 20.03.01 20.03.07



20-Residuos municipales

-03-Otros residuos municipales

-07-Residuos voluminosos

20-Residuos municipales

Aquí se halla el factor más importante dentro de este listado, ya que oscila entre la acción directa de las autonomías y las leyes gubernamentales que las rigen. En las playas de Cádiz arriban toneladas de *Rugulopteryx Okamurae* cada día, además de recogerse gran cantidad en las actividades de pesca, suceso que en temporadas altas de arribazones está colapsando los vertederos y los sistemas de limpieza de playas, sin dar a basto para la recogida de este residuo.

Fig 23. Elaboración propia. Diagrama LER en el que se muestran los códigos de los residuos municipales.

Materia Prima



Este residuo algal, cuenta con varias estrategias de recogida en los municipios:

1. Traspasadas a un vertedero: De toda esta biomasa recolectada, el grueso de volumen va a parar a lo que se denomina “zona de acopio final”. Habrán de ser localizaciones alejadas del mar, imposibilitando su reinmersión. El miteco tiene en su guía para la redacción de planes de gestión de biomasa del alga *Rugulopteryx Okamurae* por parte de las comunidades y ciudades autónomas la siguiente información sobre la recolección del alga.

4.4. Dónde transportar y acopiar la biomasa

La biomasa recogida deberá ser llevada a la zona de acopio final, en una ubicación donde no sea posible su reintroducción al mar. Puede ser una planta de residuos, un vertedero o cualquier otra zona que tenga control y que pueda garantizar la trazabilidad final de dicha biomasa.

Con lo que grandes cantidades de residuos que podrían ser totalmente útiles para un amplio abanico de soluciones, van directamente al desperdicio, colapsando las plantas de compostaje municipales, que no están dimensionadas para estas oleadas estacionales de biomasa.



*Fig 24. Fuente: elconfidencial. Imagen de reecogida de restos biomásicos de *Rugulopteryx Okamurae* en las costas de Tarifa.*

Materia Prima



Fig 25. Fuente: Archivo web de la Universidad de Sevilla. Arribazón de *Rugulopteryx Okamurae* en Tarifa.



Fig 26. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de arribazón en playa de torre de guadalmesi.

2. Varadas en la costa: Cuando no se recogen ni gestionan los residuos, este alga tiene dos posibles caminos: uno es secarse en grandes masas, formando un sustrato orgánico que altera la porosidad de la arena, y el otro, su vuelta al mar. Esto último provoca la eutrofización del medio y la dispersión de propágulos, facilitando que el alga recolonice nuevas zonas del litoral..

3. Investigación: Una pequeña parte de estos restos se destina a universidades andaluzas para su estudio en campos como la bioenergía, la cosmética o la búsqueda de nuevos polímeros. En edificación, el foco está en su capacidad como refuerzo fibroso en matrices cementicias o calizas.

4. Comercialización: Esta estrategia podría impulsar una lucha más directa contra la proliferación masiva de este alga. Los beneficios de utilizar este alga como Materia Prima son varios, por un lado la gestión del alga no conllevaría pérdidas económicas a las autonomías (por los costes de transporte y depósitos en vertederos) el uso en masa de este residuo llevaría al alga a retroceder su avance además de aprovecharse una materia prima que posee numerosas características físicas provechosas para la síntesis de materiales.

Antecedentes



ANTECEDENTES DEL BIOMATERIAL

A continuación se describen ejemplos sobre el empleo de algas marinas en el mundo de la construcción. Este recorrido pretende abordar un catálogo de referencias, que pasa desde las más simples de las soluciones, hasta las más sofisticadas síntesis.

Antecedentes



Antecedentes



Gráfica Radar

Antes de comenzar con el catálogo, se clarifica el uso de un radar diagramático, con el fin de facilitar la lectura de este. Caracterizar cada alga a través de diferentes parámetros genera una plantilla de tipologías que se intentará aplicar con el alga *Rugulopteryx Okamurae*. La siguiente tabla explicará cada punto ahondando en el los grados de subdivisión que los componen.

TRATAMIENTO

ESPECIE

ASPECTOS ACÚSTICOS

ASPECTOS TÉRMICOS

ORGANIZACIÓN CELULAR

PROPÓSITO FUNCIONAL

Antecedentes



	Grado de síntesis del alga- Siendo 0 puramente el alga, y 10 Bioplásticos y síntesis complejas.
	0. Pasto marino, 2.Diatomeas, 4.Verde, 6.Pardas, 8.Doradas, 10.Roja.
	Capacidad de absorción y barrera acústica.
	Índices de conductividad térmica.
	5 Microalga, 10 Macroalga
	0.Cubiertas, 2.Tabiques , 4.Tabiques, cubiertas y suelos, 6.Portante, 8.Luminarias, 10,Mobiliario

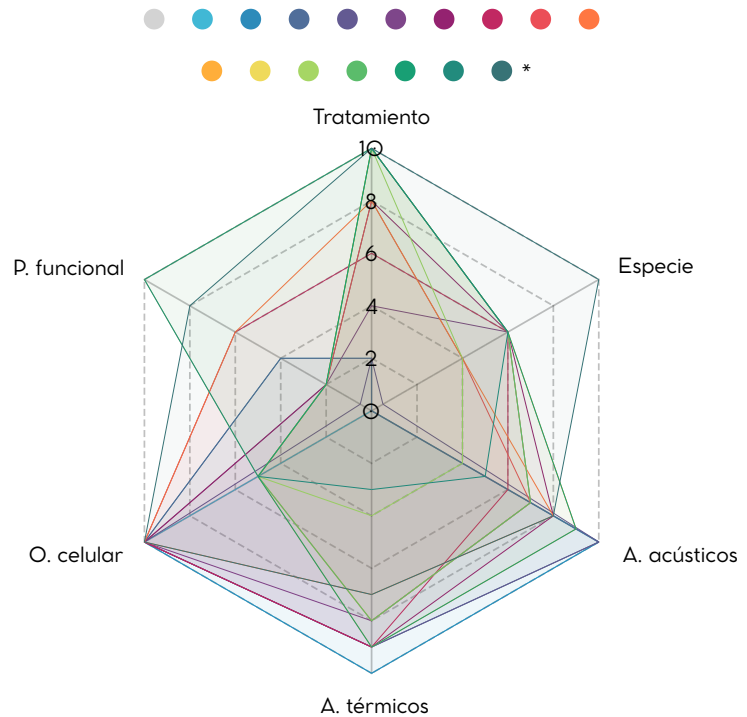


Fig 27. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal, recopilación de todos los ejemplos que se explicarán a continuación.

Marco Teórico



Cubiertas algales 1 - Habitantes Isla de Læsø. Dinamarca

Læsø es una isla que se encuentra en Dinamarca (Mar del Norte). Ésta Isla, tomó importancia en la edad Media por su industria Salinera, sus habitantes construyeron cientos de hornos para el refinado de la sal, sin darse cuenta de que pronto acabarían con toda su masa forestal. La falta de madera, desembocó en un colapso económico obligando a los habitantes de la Isla a ingeniar nuevos métodos de construcción dado que su principal materia prima era la madera.

Fue por ello que, las mujeres de la Isla (los hombres iban al mar en busca de Alimento) crearon un nueva nueva metodología constructiva de las cubiertas de sus viviendas, implementando en estas el alga *Zostera*. Consistía en crear gruesas cuerdas con estas algas (anteriormente secadas), con un extremo más fino, y el opuesto con una protuberancia más gruesa, que se anclaría a las correas de la cubierta generando así una cubierta que llegara a pesar hasta 32 toneladas, dado su gran grosor y que tras humedecerse y secarse a lo largo de los años se volvería una masa sólida.

Especie: *Zostera marina*, Pasto marino

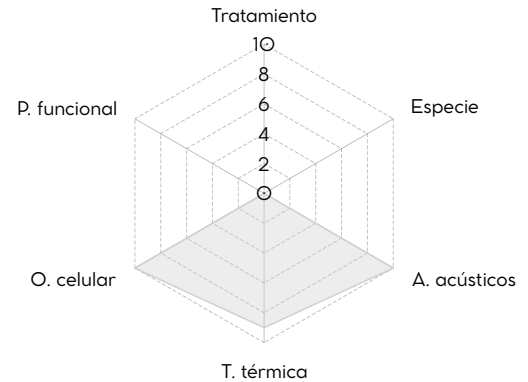


Fig 28. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 29. Fuente: magnusmund. Imagen de una de las pocas casas con cubierta algal que quedan en pie de la isla de Læsø

Antecedentes

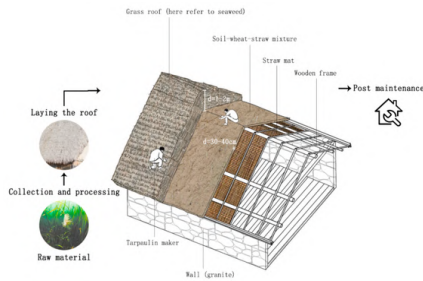


Fig 30. Fuente: web mdpi. Imagen de sistema constructivo de cubierta algal.

Esta técnica arquitectónica precisaba de la cooperación de toda la comunidad durante un día entero. Estas cubiertas poseen varias características que las hacen muy especiales, funcionan como barreras térmicas, así como impermeables y, dado que están impregnadas en sal, poseen una gran resistencia al fuego. (absorben CO₂)

Todos estos atributos, permiten que estas casas tengan una vida útil muy prolongada, quedando en pie algunas de ellas desde 1600, con algunas labores de conservación.



Fig 31. Fuente: magnusmund. Imagen de proceso constructivo de la cubierta.

Marco Teórico



Cubiertas algales 2-Habitantes de Península de Jiaodong. China

Las áreas costeras de la península de Jiaodong especialmente Weihai, Yantai y Qingdao, conservan los vestigios de una gran tradición histórica basada en la pesca y el aprovechamiento de los recursos marinos. Una técnica tradicional vernácula nos sirve de ejemplo para explicar una tipología de cubierta única a base de vegetación marina.

Sus cualidades ignífugas y fungicidas hicieron de esta planta una alternativa muy valiosa para los lugareños, que permitió crear estas cubiertas cuya durabilidad llega hasta los 200 años.



Fig 33. Web Chinadaily. Fotografía aérea del poblado de bungalows en Rongcheng.

Especie: Zostera marina, Pasto marino

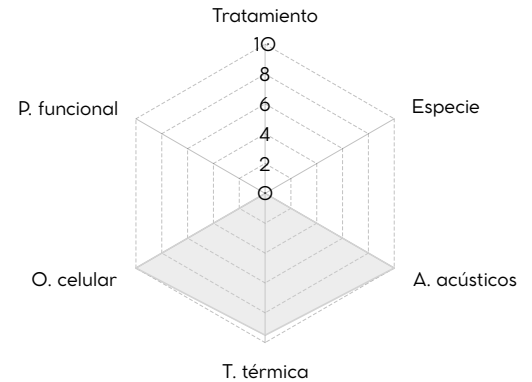


Fig 32. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 34. Fuente: web tandfonline. Dibujo partes que componen las cubiertas de Jiaodong.

Antecedentes

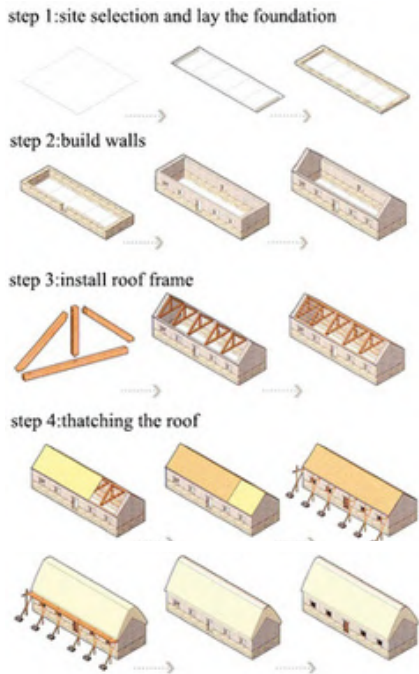


Fig 35. Fuente: web tandfonline. Dibujo proceso constructivo de las cubiertas de Jiaodong.



Fig 36. Fuente: web Tiktok. Imagen extraída de video explicativo de la construcción de las cubiertas de Jiaodong.

la *Zostera marina* es también muy abundante en las costas orientales de China. Debido a su ciclo de vida los arribazones llegan a la costa por toneladas, generando una gran cantidad de biomasa. Sus frondas largas y su estructura flexible tras el secado resultan de gran utilidad para la confección de cubiertas.

Debido a las abundantes lluvias en las zonas costeras, los techos de las casas se construyen con una inclinación en espiral y crestas altas. Este diseño asegura que, incluso cuando cae una gran cantidad de nieve, el techo no colapse por su peso. Además, gracias a la estructura de los tejados, los bungalows mantienen un ambiente fresco durante el verano y cálido en invierno.

Pese a la lejanía geográfica, esta solución constructiva guarda grandes similitudes con las casas de la isla de Læsø, demostrando cómo un material específico puede convertirse en el agente determinante de la morfología arquitectónica de una región.

Marco Teórico



La "Casa de Algas" (The Modern Seaweed House) - Vandkunsten and Realdania Byg

Siguiendo la tradición constructiva anteriormente explicada, surgen muchos estudios y empresas que en la actualidad, tratan de implementar este material en sus proyectos o productos.

El estudio Vandkunsten y la fundación promotora Realdania Byg, decidieron combinar el material ya empleado desde hace siglos en la isla con métodos constructivos del siglo XXI, ganando el primer Fibra Awards en la categoría "revestimiento y cubiertas" entre otros.

En este caso, el empleo de las algas no se limita a apilarlas unas sobre otras, sino que, estas se embuten dentro de unas redes que forman una especie de cilindros, que posteriormente se anclarán al exterior de las paredes y cubiertas, cubriendo completamente la construcción. Además, también se lleva a cabo otro sistema constructivo que consiste en colocar la zostera en el interior de estructuras de madera que forman cajas en cuyo interior se colocaron algas en el interior de cajas de madera, tras las fachadas, a modo de tabiquería interior y bajo el pavimento.

Especie: *Zostera marina*, Pasto marino

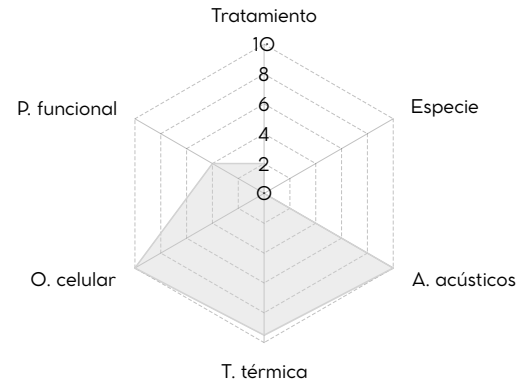


Fig 37. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 38. Fuente: revista digital dezeen. Fotografía de detalle constructivo de sistema de cubiertas.

Antecedentes



Fig 39. Fuente: Página web theyearofmud. Fotografía de sistema constructivo de tabiquería interior.

Las cualidades que posee esta vivienda son múltiples, al igual que en las casas tradicionales, este material es ignífugo y un excelente aislante tanto térmico como acústico llegando a ser comparable con materiales sintéticos más contaminantes .

Al ser un material totalmente natural y autóctono, no deja ningún rastro de huella de carbono, e incluso, lo reduce. También tienen la capacidad de absorber y desprender humedad, contribuyendo a regular el clima interior y funcionando como una estrategia bioclimática pasiva.



Fig 40. Fuente: revista digital dezeen. Fotografía de interior de la vivienda.



Fig 41. Fuente: Página web newatlas. IFotografía apariencia exterior de la Modern seaweed house.

Marco Teórico



Especie: Zostera marina, Pasto marino

Seegrashandel - Jörn Hartje y Swantje Streich

Estos dos compañeros fundaron la empresa Seegrashandel con la finalidad de recuperar e incentivar el uso de las algas como aislante térmico. Renata Wendt, una constructora, les propuso la utilización de algas como material aislante de construcción. Animados a llevar a cabo este proyecto, comenzaron con el aislamiento de las cubiertas, y observando los tan positivos resultados que este material les ofrecía, decidieron dar inicio a una etapa de desarrollo experimental para conocer más detalladamente esta materia prima.

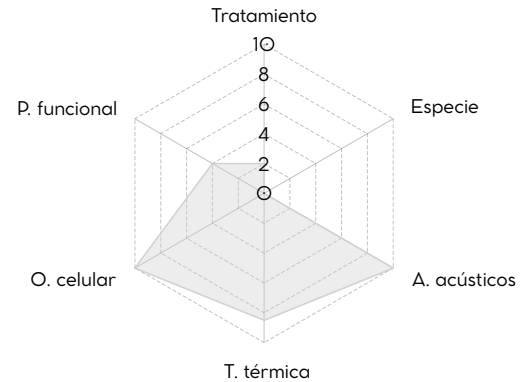


Fig 42. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 43. Fuente: WEB seegrashandel. Imágenes de procesos de recogida, almacenamiento y puesta en obra.

Antecedentes



SEEGRAS DÄMMVARIANTEN

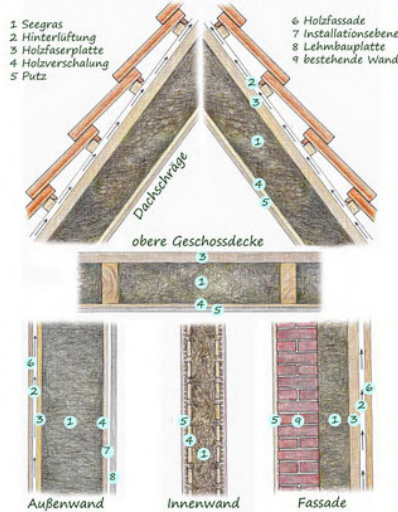


Fig 44. Fuente: WEB seegrashandel. Dibujo de detalles constructivos desarrollados por la marca.

No es hasta 2012 que comienzan a trabajar bajo el nombre de la empresa Seegrashandel, comerciando con los pastos marinos con los que fueron generando, y profesionalizando sus métodos de construcción bajo la ayuda de agricultores daneses que dominaban el uso de estas algas. Nuevamente, la tipología constructiva de las casas de Læsø les servirá como inspiración, buscando reconquistar la utilización de este material que tan utilizado fue siglos atrás.

Con este salto al comercio, consiguieron estandarizar este producto, caracterizando las propiedades de mayor interés de este material en su forma menos procesada, las cuales se especifican en la siguiente tabla y se comparan con los materiales aislantes convencionales más utilizados a día de hoy en la construcción.

Propiedad	Pasto Marino (Zostera)	Poliestireno Expandido (EPS)	Poliestireno Extruido (XPS)	Fibra de Vidrio	Corcho Granulado	Lana de Roca	Celulosa (Reciclada)
Conductividad térmica (λ)	0.043 - 0.045 W/mK	0.030 - 0.040 W/mK	0.032 - 0.035 W/mK	0.031 - 0.043 W/mK	0.040 - 0.045 W/mK	0.034 - 0.040 W/mK	0.037 - 0.042 W/mK
Clase de fuego (Euroclase)	B2 (Muy baja contribución)	E/F (Inflamable)	E (Inflamable)	A1 (No combustible)	B2 / E (Autoextinguible)	A1 (No combustible)	B-s2, d0
Capacidad calorífica (Cp)	2.0 kJ/kgK	1.2 - 1.5 kJ/kgK	1.2 - 1.5 kJ/kgK	0.8 - 1.0 kJ/kgK	1.6 - 1.9 kJ/kgK	0.8 - 1.0 kJ/kgK	2.1 kJ/kgK
Factor de resistencia (μ)	1 - 2 (Muy transpirable)	20 - 70	80 - 250 (Barrera de vapor)	1 (Totalmente abierto)	5 - 10 (Transpirable)	1 (totalmente abierto)	1 - 2 (Muy transpirable)
Resistencia a la humedad	Muy alta	Alta	Muy alta	Media	Alta	Media	Baja
Origen	Orgánico (Marino)	Sintético (Petróleo)	Sintético (Petróleo)	Mineral (Arena/Vidrio)	Orgánico (Corteza)	Mineral (Arena/Vidrio)	Orgánico (Papel reciclado)
Emisiones CO2 eq (GWP / kg)	Negativo (Absorbe CP2)	-2.5 - 3.3 kg	-7.0 - 8.0 kg	-1.4 - 1.5 kg	Negativo (Absorbe CP2)	-1.0 - 1.2 kg	Negativo (Absorbe CP2)

Tabla 3. Fuente: elaboración propia. Tabla comparativa de zostera con materiales convencionales.

Marco Teórico



14 viviendas VPO - Life Reusing Posidonia

Life Reusing Posidonia es un proyecto de adaptación al cambio climático promovido por el Instituto Balear de la Vivienda (IBAVI), financiado por el programa europeo LIFE+. Uno de los proyectos que más destacan consiste en la construcción de 14 viviendas de protección oficial en Sant Ferran, Formentera.

El uso de materiales locales y sostenibles renovables hacen de estas casas un ejemplo de construcción circular. Aquí entra en juego la planta marina Posidonia Oceánica, que, al igual que la Zostera marina, deja grandes volúmenes de residuo en las costas tras completar su ciclo de vida. En este proyecto se destina, al igual que los ejemplos anteriores, al aislamiento térmico y acústico consiguiendo unos resultados muy positivos.

La recolección de la Posidonia se realiza manualmente y se seca directamente al sol , (con sal incluida que actuará como biocida natural). Tras el secado se introduce en bolsas para su transporte además de evitar el deterioro por humedades. El transporte y movimiento de este producto no requiere grandes esfuerzos ya que es un material que, pese al gran volumen que ocupa, es muy ligero.

Especie: Posidonia oceánica, Pasto marino

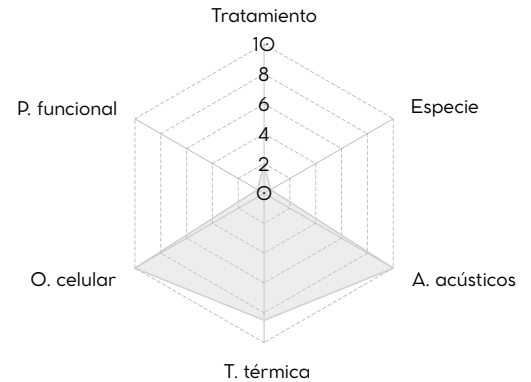


Fig 45. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 46. Fuente: Revista digital arquitectura viva. Fotografías de arrabazón de posidonia y embolsado para posterior transporte.

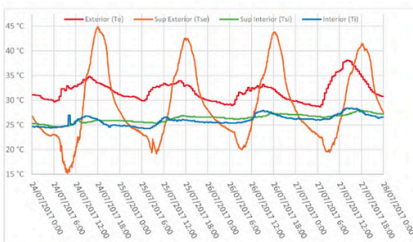
Antecedentes



Fig 47. Fuente: Revista digital arquitectura viva. Fotografías de proceso de esparcido y encajonado de posidonia en cubierta.

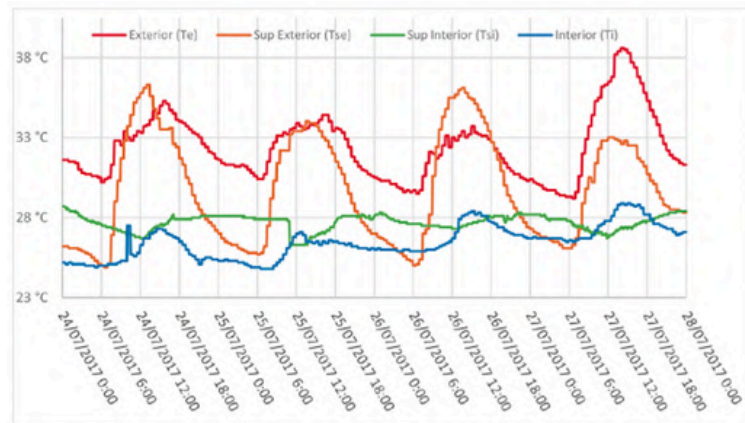
La puesta en obra consiste en compactar el alga entre un sistema matriz formado por restos de palés para posteriormente cerrarlo con planchas de madera e material impermeable para evitar el paso del agua a su interior. La solución final forma 15cm de aislamiento a partir de esta materia prima.

Los resultados que se recogen de esta cubierta son bastante esclarecedores en cuanto a aislamiento térmico, reflejando un decremento de temperatura de hasta 12 grados centígrados de exterior a interior.



Temperatura fachada sur South facade temperature

Fig 48. Fuente: Revista digital arquitectura viva. Gráfico de temperaturas relaciondo exterior e interior de la fachada sur.



Temperatura cubierta Roof temperature

Fig 49. Fuente: Revista digital arquitectura viva. Gráfico de temperaturas relaciondo exterior e interior de la cubierta.

Marco Teórico



Tras analizar el comportamiento y los usos constructivos de las plantas marinas *Zostera* y *Posidonia*, se procede al estudio de los diferentes usos que se le da a las Algas en múltiples casos reales.

En primer lugar se llevará a cabo un acercamiento a un alga que posee características tanto invasivas como físicas muy cercanas a las de el alga *Rugulopteryx Okamurae*; *Sargassum Fluitans*, El *Sargassum* o *Sargazo* es una macroalga parda holopeágica, es decir flota libremente sin aferrarse a ningún lecho marino. Es originaria del Mar de los Sargazos, región del océano Atlántico septentrional, que no se delimita por ninguna barrera terrestre, sino por varias corrientes marinas. Su introducción en el caribe la ha convertido en una de las principales amenazas en la biodiversidad de este mar, con lo que se ha catalogado como alga **invasora** del Caribe.

Sargablock - Omar Vázquez

Omar Vázquez es un Mexicano originario de la comunidad del Puerto Morelos, en Quintana Roo, uno de los lugares más afectados por los arribazones de Sargazo. Omar vió en la gran cantidad de residuo algal una oportunidad para patentar un material de construcción basado en dicha materia, con lo que, mezclando adobe con Sargazo creó el Sargablock

Especie: *Sargassum Fluitans*. Alga invasora

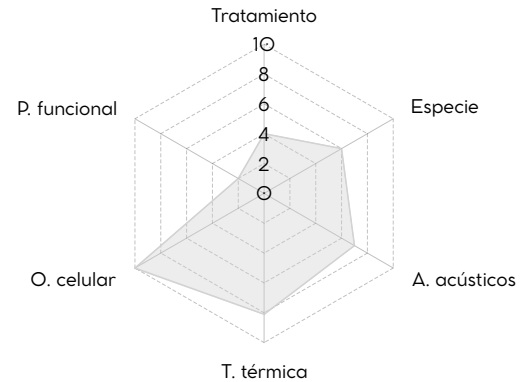


Fig 50. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 51. Fuente: prensa digital infobae. Fotografías de los arribazones de sargazo en Cancún

Antecedentes



Fig 52. Fuente: prensa digital infobae. Procesos de fabricación de sargablock.



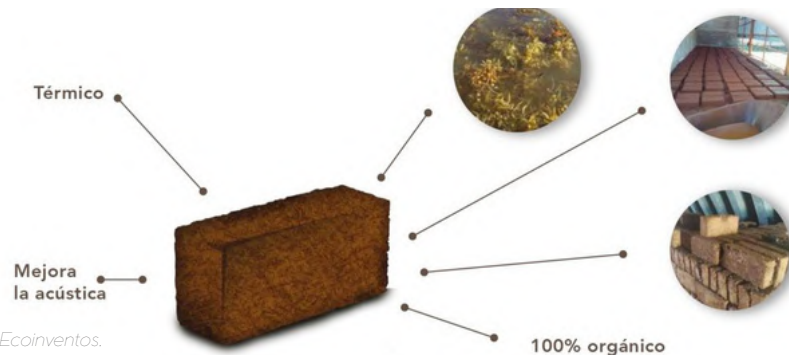
Fig 53. Fuente: Web researchgate. Talo de Sargassum.

Fig 54. Fuente: Revista digital Ecoinventos. Diagrama característico de un sargablock.

Sargablock es un ladrillo que se fabrica con un 40% de sargazo y un 60% de material orgánica local. Con este material se construyen viviendas utolizando estos ladrillos a modo de muro de fábrica. Gracias al alga, este material posee propiedades térmicas y aústicas:

"Baja la temperatura de 10 a 12 grados. No estoy diciendo que lo enfría como un aire acondicionado, pero la casa te protege"

Gracias a esta iniciativa, las inmensas cantidades de residuos en las costas se han podido utilizar y dándole un propósito funcional, reduciendo un desperdicio de 100 mil toneladas de sargazo. El proceso de fabricación posee un costo económico y energético de los mas bajo, conformado por tres sencillos pasos: mezcla, prensado y fraguado, sin necesidad de cocción, lo que hace de este material un ejemplo claro de material sostenible y circular.



Marco Teórico



Sargapanel - Investigadores de la UNAM

El equipo de investigadores dirigido por la Dra. Miriam Estévez González, está llevando a cabo un prototipo de panel tipo yeso laminado, pero con una composición basada en el alga Sargassum.

El proceso de fabricación de este panel consiste en la recogida de este directamente desde alta mar, sin necesidad de esperar a que estos restos arriben en las costas, evitando así la putrefacción. Tras el secado solar, el procesamiento y el embolsado, el material es trasladado al equipo de investigación del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, donde se realizan los prototipos.



Fig 57. Fuente: Pagina web Gaceta UNAM. Fotografía vertido y esparcido de yeso mezclado con sargazo.

Especie: Sargassum Fluitans. Alga invasora

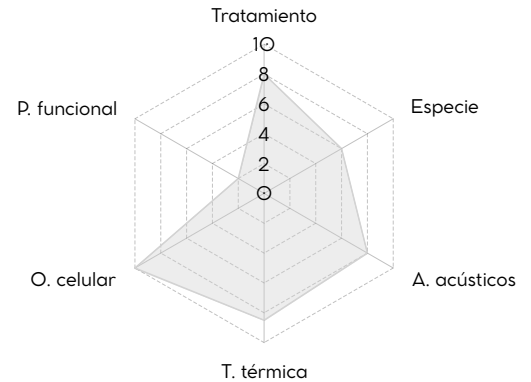


Fig 55. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.

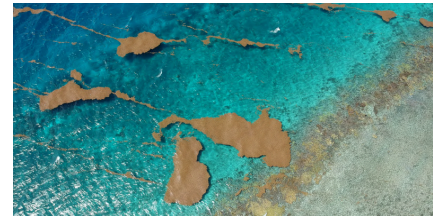


Fig 56. Fuente: Wikipedia commons. Fotografía aérea de las grandes masas flotantes de sargazo sobre el mar del caribe.



Fig 58. Fuente: Pagina web Gaceta UNAM. Fotografía de investigadores tratando el alga.

Antecedentes



Fig 59. Fuente: Canal youtube noticias el debate. Fotografía proceso de creación del papel a partir de pulpa del alga.

Tras la eliminación de impurezas se muele, la materia para posteriormente triturarla y tamizarla, obteniéndose un polvo con el que se fabrica la pulpa que dará lugar a la cobertura flexible del sargapanel. Esta cobertura se coloca a ambas caras de un amalgama creado a partir de yeso y el alga, consiguiendo así un panel con prestaciones competentes en el mundo de la construcción, permitiendo construir muros, tabiquerías y plafones evitando la deforestación y el gasto de un 60 % de agua y 40 % de energía.



Fig 60. Fuente: Canal youtube noticias el debate. Fotografía sargapanel terminado.



Fig 61. Fuente: Página web remedia.bio. Fotografía de diferentes acabados del panel.

El producto final es un panel compuesto por un 70% de sargassum, convirtiendo a este panel en una alternativa ecosostenible más que idónea para su integración en el mundo de la construcción. Este 70% de alga equivale a 50 kilogramos del alga húmeda que, tras su secado se vuelven 5 kilogramos, con lo que su fabricación en masa podría solucionar el grave problema que genera este alga invasora.

Marco Teórico



Especie: Sargassum Fluitans. Alga invasora

Sargacreto - Grupo Dakatso

Grupo Dakatso es una empresa especializada en ingeniería marítima y soluciones ambientales, desde que comenzó el problema del sargazo en el Caribe en 2015, enfocó gran parte de sus esfuerzos en intentar solventar los graves problemas que este invasor imparable sigue generando a día de hoy.

Su misión es la de gestionar el sargazo de las costas de manera sostenible, habiendo desarrollado hasta la fecha numerosas soluciones funcionales tales como barreras flotantes, embarcaciones de recolección y maquinaria de cribado de arena. Todos estos mecanismos procuran realizar los trabajos con el menor impacto ambiental posible. Al ser una empresa que lleva 10 años desarrollando estrategias de gestión y recogida del residuo algal, ha conseguido una gran facilidad y experiencia a la hora de tratar dicha materia, llegando al desarrollo de un material de construcción a base de Sargazo.

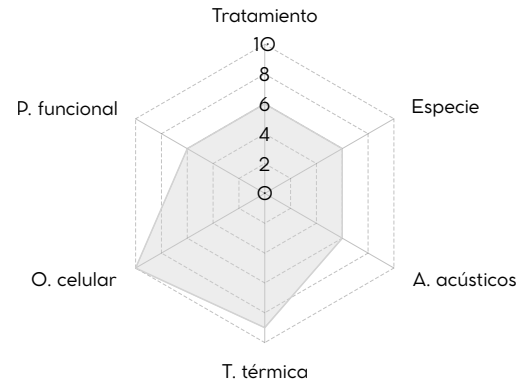


Fig 62. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 63. Fuente: Página web Dakatso. Fotografía aérea de las barreras flotantes.



Fig 64. Fuente: Página web Dakatso. Fotografía de gestión de residuos algales en costa.

Antecedentes



Fig 65. Fuente: Página web Sargacreto. Fotografía de bovedillas fabricadas con el material Sargacreto.

El proceso de fabricación es simple, primero se recoge el alga viva, se lava eliminando la salinidad, es triturado y deshidratado bajo el sol, solución empleada en todos los casos anteriores.

Sargacreto es un material compuesto por hormigón y entre un 35-40% de alga, que da forma a una gran variedad de soluciones constructivas tales como bovedillas, vigas, suelos, bloques etc. Además de estas soluciones más comunes, se puede aplicar para cualquier utilidad cotidiana, formando banquetas, pasos peatonales y viaductos para tráfico ligero.

Esta iniciativa abre las puertas a soluciones de fabricación de hormigón en las que el uso de áridos puede disminuirse en gran medida dando resultados comparables a los hormigones más utilizados en la construcción.



Fig 66. Fuente: Página web Sargacreto. Fotografía de diferentes acabados de suelos utilizando el material Sargacreto.

Marco Teórico



Espiral de Bioblock - SOM & Prometheus Materials

El colectivo de arquitectos SOM (Skidmore, Owings & Merrill) en colaboración con la empresa Prometheus Materials realizó un pabellón para la Bienal de arquitectura de Chicago en 2023.

Éste pabellón utiliza 544 ladrillos biológicos a base de algas, que nace con la intención de concienciar sobre el uso de los bloques convencionales de cemento CMU, material que produce aproximadamente el ocho por ciento de las emisiones mundiales de CO₂, demostrando que se pueden emplear otros productos constructivos con las mismas prestaciones que este compuesto tan utilizado.



Fig 70. Fuente: Pagina web Gaceta UNAM. Fotografía interior del pabellón helicoidal de bioblocks.

Especie: Synechococcus . Cianobacteria

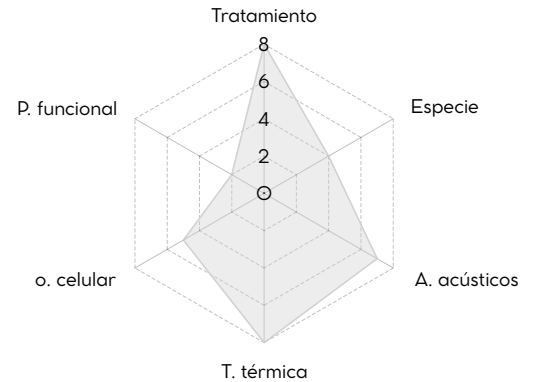


Fig 67. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 68. Fuente: Página web Dakatso. Fotografía aérea de las barreras flotantes.



Fig 69. Fuente: Página web Archello. Fotografía de proceso constructivo del pabellón.

Antecedentes

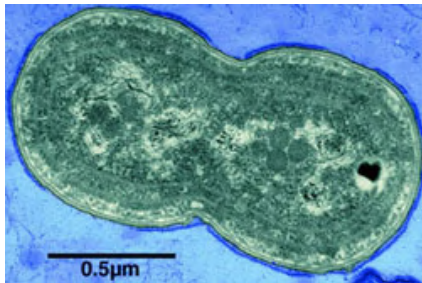
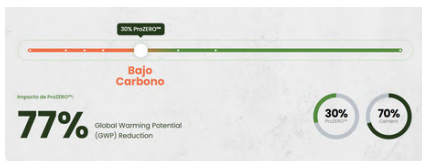


Fig 71. Fuente: Página web genome. Imagen por microscopía óptica de cianobacteria *Synechococcus*.



*Fig 72. Fuente: Página web prometheusmaterials. Captura de pantalla de gráfico de porcentaje



Fig 73. Fuente: Página web prometheusmaterials. Fotografía de diferentes moldes fabricados con Biocemento.

Dejando de lado las construcciones efímeras y el diseño conceptual, la empresa Materiales Prometheus, encargada de la fabricación de los bloques utilizados en el pabellón, esta desarrollando diferentes formas modulares para el empleo de este compuesto patentado bajo el nombre ProZERO, que también vende en polvo para dosificar con cemento en la proporción que el consumidor estime oportuna*. La clave en este desarrollo es la sustitución del CLINKER piedra caliza por una biomineralización producida por microalgas, evitando la extracción de esta roca y sus efectos nocivos asociados y consiguiendo captación de dióxido de carbono mediante el cultivo de estas algas. Por último y a modo alegórico pero realista, las edificaciones construidas con este tipo de tecnología se podrán entender como “cementeros” de carbono, almacenando en su interior indefinidamente en vez de expulsar a la atmosfera.



Fig 74. Fuente: Página web Sargacreto. Fotografía aérea de un cultivo de microalgas de la empresa Prometheus.

Marco Teórico



Biomampostería algal - Grupo de Biotecnología de la Universidad de Sydney

La Dra. Kate Scardifield y su grupo han desarrollado un ladrillo modular fabricado únicamente por algas y conchas de ostras residuales. Con un principio semejante al de ProZERO, este grupo de investigación da un paso adelante y utiliza conchas como sustituyente de la arena virgen u otros áridos con una huella de carbono más grande, aportando un fin a un material que, lejos de ser un desperdicio puede ser un estructurante de biocementos.

Fig 76. Fuente: Prensa digital plantasyhongos. Fotografía de alga ULVA.



Fig 78. Fuente: Prensa digital theguardian. Fotografía de uno de los módulos de biomampostería.

Especie: Ulva Ohnoi. Alga verde

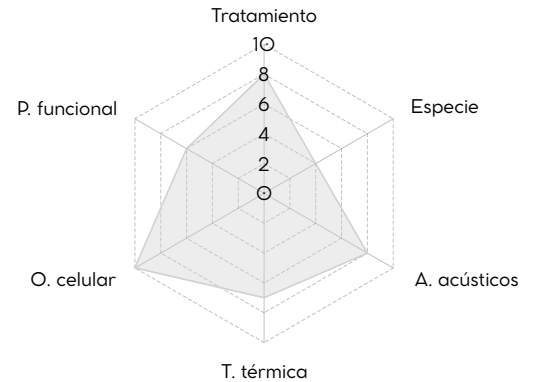


Fig 75. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 77. Fuente: Base de datos link.springer. Fotografía de varias probetas de investigación.



Fig 79. Fuente: Base de datos link.springer. Fotografía detallada de dos probetas con mejor resultado.

Antecedentes



Fig 80. Fuente: Página web prometheusmaterials.
Captura de pantalla de gráfico de porcentaje



Fig 81. Fuente: Página web prometheusmaterials.
Fotografía de diferentes moldes fabricados con Biocemento.

La diferencia de ésta síntesis está en el uso de macroalgas en lugar de microalgas, utilizando una llamada Ulva, que junto a unos agregados aglutinantes formarán un material tan sólido como el cemento, con unas prestaciones similares a este material

El proceso de fabricación es sencillo; tras una limpieza y molienda de las conchas de ostra a granulometría fina $< 1 \text{ mm}$ se mezcla con el alga Ulva formando una pasta que habrá de verterse en un molde y pasará ahí 48 horas esperando a ser desmoldada. El producto final es un bloque sólido con variabilidad de formas casi infinita, con capacidad portante y un tono verduzco de lo más estético.



Fig 82. Fuente: Página web Sargacreto.
Fotografía aérea de un cultivo de microalgas de la empresa Prometheus.

Marco Teórico



Agregado Liviano Biogénico - Por Thais Szegö | Agência FAPESP.

En la construcción civil se suelen utilizar materiales aligerantes tales como arcilla expandida, es por ello que coordinando la investigación el profesor João Adriano Rossignolo del Departamento de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de São Paulo, desarrollo un material sustituyente a las calizas. Este tipo de material requiere de grandes temperaturas para sintetizarse, sin embargo con el uso de entre el 20 % y 40 % de material algal proveniente del Sargassum y empleando hornos microondas se consigue un material muy similar con un aporte energético Notablemente menor.

Además de esta ventaja energética el material creado posee una transmitancia térmica baja, con lo que al agregarse a cualquier mortero hará de este un mejor aislante térmico. Gracias a este material “burbuja” se consiguen también propiedades acústicas.

Especie: Sargassum. Alga parda

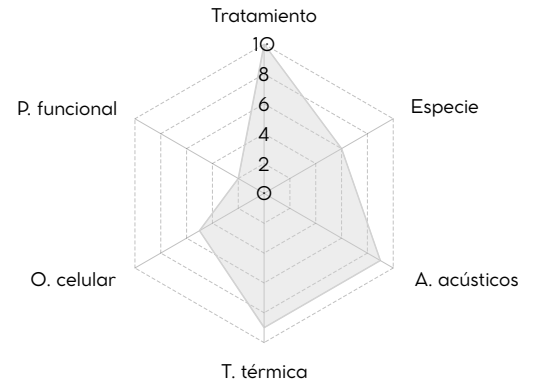


Fig 83. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 84. Fuente: Página Web agencia.fapesp.br de la FAPESP. Fotografía de pellets expandidos aligerantes.

Antecedentes

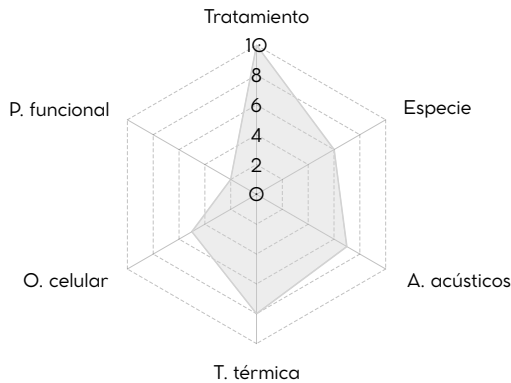
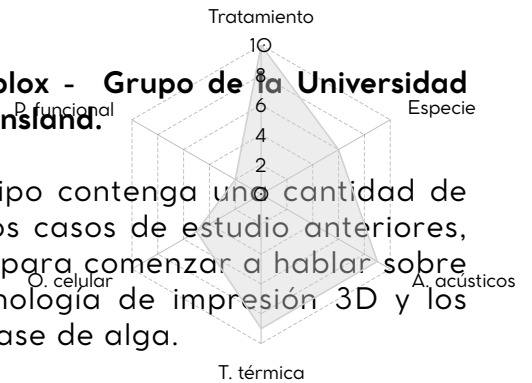


Fig 85. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.

breeze blocks Roboblox - Grupo de la Universidad Tecnológica de Queensland.

Aunque este prototipo contenga una cantidad de alga menor al de los casos de estudio anteriores, es un buen ejemplo para comenzar a hablar sobre la fusión de la tecnología de impresión 3D y los biomateriales con base de alga.



Este proyecto combina la biotecnología con la robótica, generando cualquier forma a partir de un material con un bajo impacto ambiental gracias a su composición que recoge diferentes residuos como el bagazo (fibra de caña de azúcar), cenizas volantes y lodos de molienda.

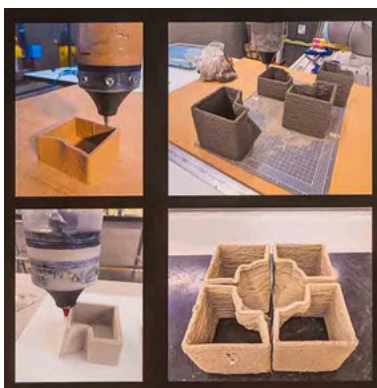


Fig 86. Fuente: Página Web /adp.uq.edu.au de la universidad de Queensland. Imagen que muestra el proceso de impresión 3D



Fig 87. Fuente: Página Web /adp.uq.edu.au U. Queensland. Fotografía producto final impresión 3D.

Esta libertad geométrica permite diseñar celosías que optimizan la ventilación natural y la ruptura de ondas sonoras, transformando el muro en un filtro térmico y acústico pasivo. Así, el alga deja de ser un simple aditivo para convertirse en el ligante biológico que dota de cohesión y porosidad estratégica a la estructura.

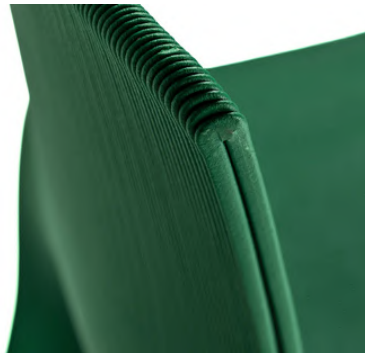
Antecedentes



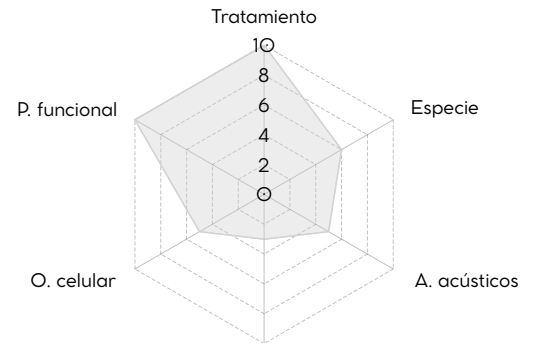
Silla Kelp - Interesting time Gang

El estudio de interiores Interesting time Gang comercializa mobiliario compuesto por un producto sintetizado derivado de la macro alga *Saccharina latissima*, redes residuales de la industria pesquera y algunas fibras de refuerzo tales como fibras de madera. Con este biomaterial circular. En este caso el alga no hace de aglutinante si no que se comporta como el material "arido" de relleno, aportando volumen, porosidad y textura. En su caso, los restos de redes se aprovechan y emplean como material ligante, entrelazando el polvo del alga y convirtiéndose en una estructura sólida pero sensiblemente elástica. Al ser un material de fácil moldeado en

temperaturas no muy elevadas se vuelve muy útil para la impresión 3D generando diseños con forma orgánica y ergonómica. Gracias a esta iniciativa el estudio ha sido galardonado con el German Design Award, entre otros.



Especie: *Laminaria* (Kelp). Alga parda



Aspectos térmicos T. térmica

Fig 88. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig 89. Fuente: Web itg.studio. Fotografía de la silla kelp en venta.

Antecedentes



Especie: ULVA . Alga verde

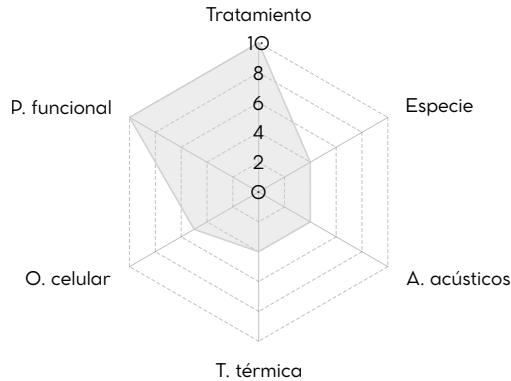


Fig 91. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.

Algae Egg Chair - Peter Ghyczy y Felix Ghyczy

La icónica silla con forma de huevo diseñada por Eric Klarenbeek y Maartje Dros fabricada con materiales poliméricos ha dado una vuelta conceptual en su diseño a través del uso de biopolímeros algales. El compuesto desarrollado se denomina weedware que se consigue a través de la molienda del alga mezclando mecánicamente con almidón biológico que le aporta termoplaticidad gracias a un componente llamado "PLA" (Ácido Poliláctico). El resultado es un material extrusionable por boquillas de impresoras 3D que al aplicarse calor es moldeable, y al enfriar se endurece.

La versatilidad formal y las propiedades que posee este biocompuesto es comparable con la del poliuretano empleado en la silla original.



Fig 92. Fuente: Página Web dotunusual. Fotografía Egg Chair a escala humana.

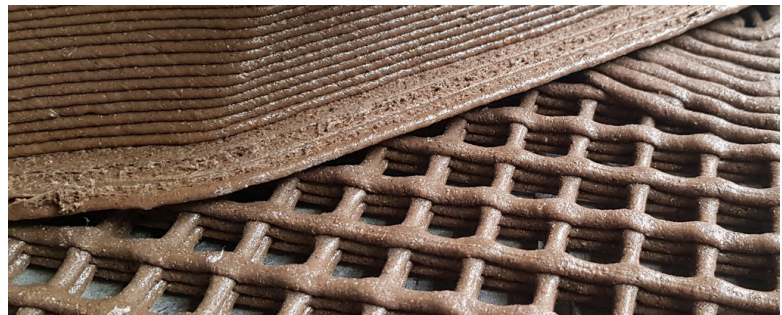


Fig 93. Fuente: Página Web dotunusual. Fotografía de estructura impresa en 3D de material compuesto a base de alga.

Marco Teórico



Wevolve Labs designs sculptural lights crafted from biomaterials

El colectivo Wevolve Labs fusiona arte y ciencia mediante la creación de luminarias escultóricas fabricadas íntegramente con biomateriales. Su trabajo se centra en la investigación de polímeros naturales y fibras orgánicas para desarrollar objetos que no solo sean estéticos, sino también biodegradables.

En este ejemplo se desarrollaron 5 luminarias escultóricas biogénicas en base de algas, a través de la extracción del alginato de sodio. A esta mezcla se le añade un plastificante natural (glicerina) para evitar la cristalización y fragilidad del material tras el secado y un rigidizador (cloruro de calcio). Este último actúa como un agente de reticulación, creando puentes químicos entre las cadenas del alga que convierten el compuesto en una membrana autoportante.

El producto final es una luminaria traslúcida con colores en tonos rojizos dada la utilización de algas rojas como principal compuesto, las cuales aportan pigmentos naturales fotosensibles. El material destaca por su capacidad de difusión lumínica, permitiendo que la luz resalte la textura orgánica y las irregularidades propias de las fibras de alga.

Especie: Gracilaria. Alga roja

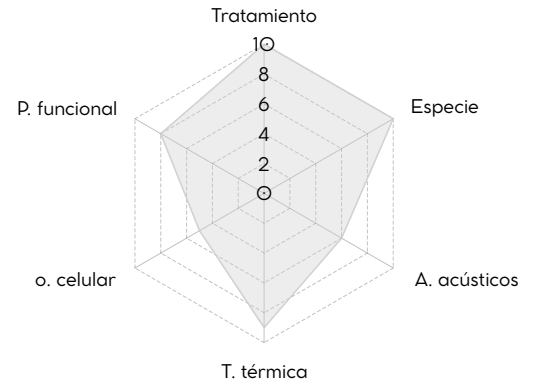


Fig 94. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.



Fig x. Fuente: Página web dezeen. Fotografía de las 5 luminarias a base de algas.

Antecedentes



Especie: Laminaria (Kelp). Alga parda

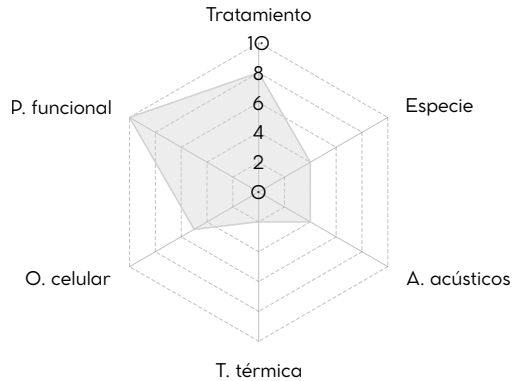


Fig 95. Fuente: elaboración propia. Hexágono de características del material algal.

Corpus Maris II (2023) - Julia Lohmann

Estas obras consisten en estructuras escultóricas de gran formato que exploran el uso de las macroalgas como un material de construcción flexible y orgánico. La artista utiliza láminas de alga (Kelp) recolectadas de forma sostenible, que tras ser tratadas para mantener su flexibilidad, se estiran y se adhieren sobre esqueletos curvos de ratán y madera laminada. El resultado son pabellones y volúmenes translúcidos que funcionan como "pieles" biológicas, proponiendo un modelo de arquitectura basado en el crecimiento marino en lugar de la extracción mineral.



Fig 96. Fuente: Página Web fkv. Fotografía de transparencia del material.



Fig 97. Fuente: Página Web fkv. Fotografía de los pabellones.

Proceso experimental *

Caracterizar un material es crucial a la hora de incorporarlo en otros materiales de construcción. El análisis de su composición, es un factor clave para anticipar si un material será compatible con otro. Para caracterizar este alga como materia prima, primeramente se realizaron dos recolecciones en diferentes estados, una seca bajo el sol y la otra húmeda. A continuación se detallan los procesos llevados a cabo para preparar el alga en un subproducto de construcción

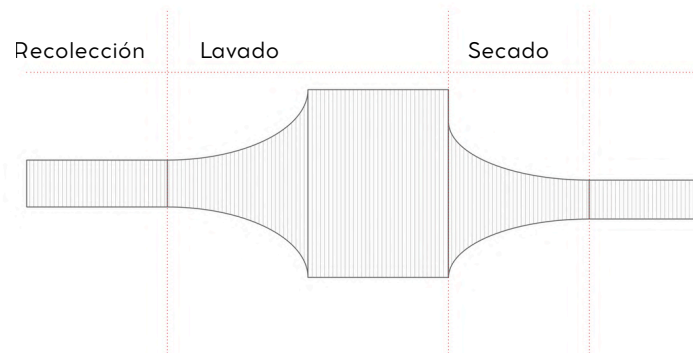
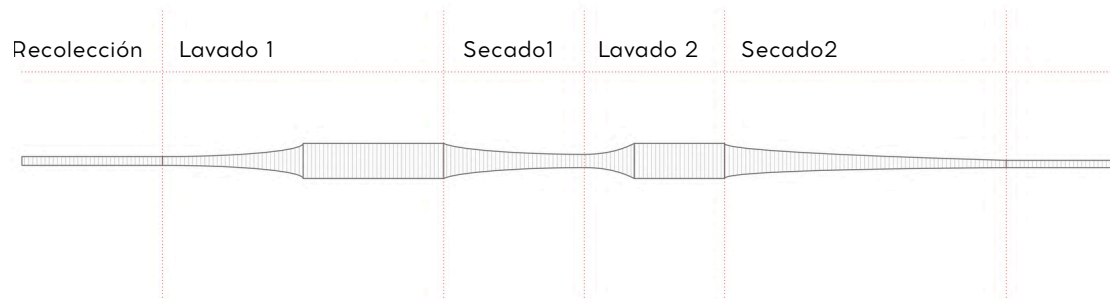


Fig 98. Fuente: elaboración propia.
Línea de tiempo diagramática proceso de caracterización
y experimentación de las algas recogidas en Volumen seco.

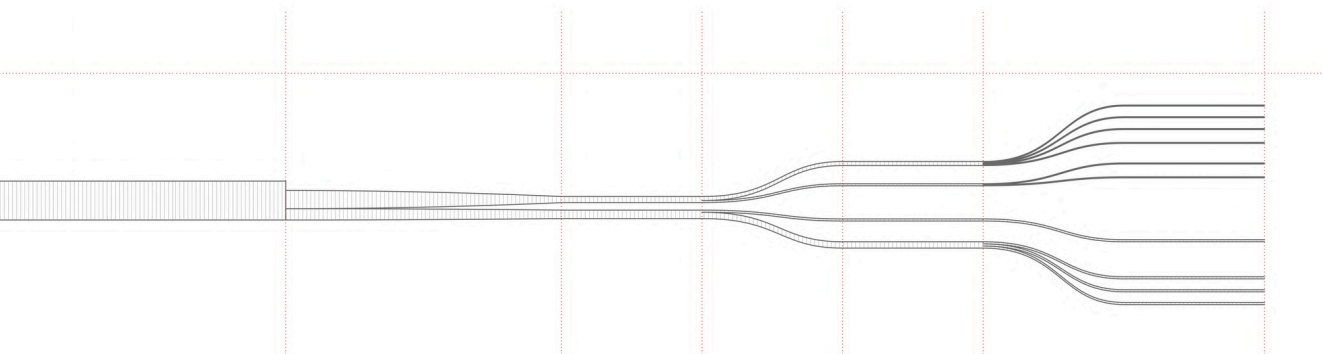
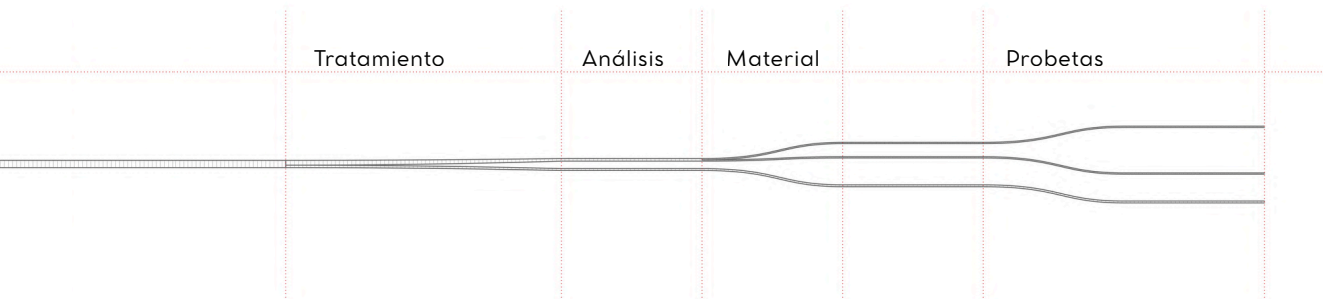


Fig 99. Fuente: elaboración propia. Línea de tiempo diagramática
proceso de caracterización y experimentación de las
algas recogidas en volumen saturado.

Caracterización



Fig 100. Fuente: elaboración propia.
Línea de tiempo diagramática proceso de caracterización y experimentación..

RECOLECCIÓN

Para entender el proceso de recolección, hay que comprender primero el ciclo biológico en la etapa residual:

1. Flote en orilla
2. Salida al exterior
3. Secado al sol
4. Acumulación y compactación
5. Descomposición

Cada proceso puede acompañar de vuelta a cualquier anterior, pero con un nivel de descomposición mayor en cada etapa. En caso de secar en condiciones óptimas puede llegar a deshidratar sin descomponer su estructura. En este trabajo se recogieron algas de las etapas 1 y 4.

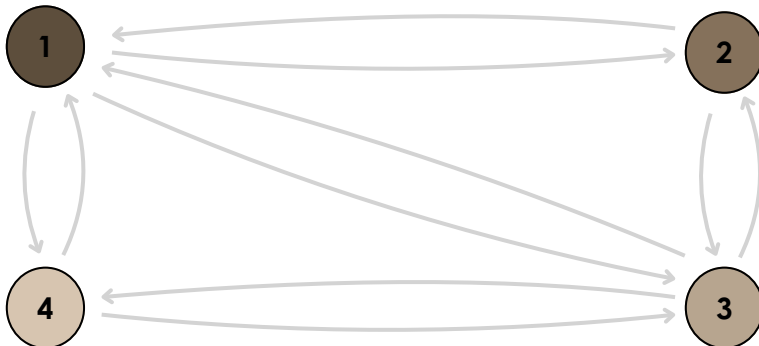


Fig 101. Fuente: elaboración propia.
Acumulaciones de las algas arribadas en la playa de la puntilla.



Fig 102. Fuente: elaboración propia.
Acumulaciones de las algas arribadas en la playa de la puntilla.



RECOLECCIÓN EN SECO

El residuo algal recolectado en la playa “la puntilla” en El Puerto de Santa María corresponde en gran parte a la etapa 4, lo que implica que fue secada al sol formando cúmulos compactos.

Se recolectaron manualmente en torno 200 gramos del alga y posteriormente se guardó en bolsas plásticas para su transporte. Al secarse bajo el sol previamente, el transporte y almacenaje primario no supuso ninguna complicación. Gracias a este secado previo, las algas no sufrieron desperfectos ni deterioros durante su transporte, llegando a Madrid en perfectas condiciones.

El lavado de las algas se llevó a cabo para que ningún tipo de impureza distorsione los resultados de los ensayos, centrándose en los resultados únicos entre el alga y otros productos.



Fig 103. Fuente: elaboración propia. Lugar de primer muestreo y recogida de algas.



Fig 104. Fuente: elaboración propia. Acumulaciones de las algas arribadas en la playa de la puntilla.

Caracterización



PRIMER LAVADO

Crucial para la incorporación y utilización de *Rugulopteryx Okamurae* como material de construcción es el lavado de impurezas tales como arena y sal (entre otras).

El primer lavado consistió en sumergir el alga en cubetas de agua realizándose al mismo tiempo una detección óptica y separación manual de pequeños plásticos y otros residuos.

SECADO AL AIRE

Tras el primer lavado se realizó un secado al aire para evitar la proliferación de biota que descomponga el alga. Extendida sobre el suelo, se dejó secar durante 42 horas, para asegurar la evaporación completa de agua. Pasado el tiempo de secado se recogió y colocó en bandejas para que siguieran aireando durante otro día más y por último, se almacenó en bolsas plásticas para su posterior transporte a la ETSAM.



Fig 105. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de primer lavado.



Fig 106. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de primer secado al aire.

Caracterización



Fig 107. Fuente: Elaboración propia. Fotografía del segundo lavado mediante el uso de tamices.

SEGUNDO LAVADO

El segundo lavado se llevo a cabo en las instalaciones del laboratorio de materiales de la ETSAM. Más controlado y minucioso que el primero, se enjuagaron y limpiaron las algas con el uso de tamices para la correcta separación de los sedimentos con las algas.

Se realizaron tres llenado-vaciado de los lavaderos, gastando un total de 60 litros para la limpieza total de las muestras.

SECADO AL AIRE

SECADO MEDIANTE ESTUFA

Para realizar el secado y asegurar la total deshidratación de las algas se introdujeron en una estufa de secado durante tres días a 50 grados con interrupciones cada 24 horas para remover las algas y que sequen uniformemente.



Fig 108. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de la estufa de secado del laboratorio de la ETSAM.



Fig 109. Fuente: Elaboración propia. Fotografía del medidor de temperatura y tiempo, en rojo la temperatura.

Caracterización



PESAJE

Tras el total deshidratado de las alga, se realizo una medición del peso seco total de la muestra. La materia final registrada fue de 187,44 gramos, un total que no representa ni la tercera parte del peso húmedo de las muestras recogidas.



Fig 110. Fuente: elaboración propia. Fotografía de báscula de pesada.



Fig 111. Fuente: elaboración propia. Separación de alga seca en cajas para el posterior triturado.



Fig 112. Fuente: elaboración propia. Alga en fibras en el interior del molino de triturado.



MOLIENDA

Un tercio del producto final se guardará en fibras y los otros dos tercios se triturarán para convertirlo en polvo. El fin de esta diferenciación será la utilización de ambos estados del alga para la dosificación de ésta con otros materiales de construcción, comprobando que morfología es más efectiva para cada material. Además con el polvo fino, la extracción de cualquier alginato se hace mucho más efectiva.



Fig 113. Fuente: elaboración propia. Alga en fibras en el interior del molino tras el triturado.

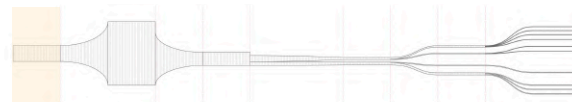


Fig 114. Fuente: elaboración propia. Comparativa entre alga en fibras y en polvo



Fig 115. Fuente: elaboración propia. Valanza de pesado marcando una de las marcas registradas tras el secado.

Caracterización



RECOLECCIÓN EN HÚMEDO *

Dada la poca cantidad recogida en el primer muestreo , se realizó una segunda recolección con el fin de poder realizar una cantidad más significativa de probetas. El residuo algal recolectado en Tarifa (punta del Guadalmesi) pertenece a la etapa 1.

El método de recolección se realizó recogiendo montones de algas que flotaban en la orilla, para posteriormente acumularlas y dejarlas escurrir, para más tarde introducir las en bolsas plásticas y trasladarlas a Madrid.



Fig 117. Fuente: elaboración propia. Ruta marcada con posibles arribazones.



Fig 116. Fuente: elaboración propia. Acumulaciones de las algas arribadas en la playa de torre del Guadalmesi.



Fig 118. Fuente: elaboración propia. Algas recolectadas in situ por el autor.

Caracterización



Fig 119. Fuente: elaboración propia. Algas recolectadas en la punta de Guadalmesi, Tarifa.



Fig 120. Fuente: elaboración propia. Fotografía para apreciar el cambio de pigmentación debido al transporte.

Se recolectaron unos 25 kg del alga recién arribada en la costa. El transporte en bolsas plásticas desencadenó un cambio de pigmentación en el alga adquiriendo un tono verduzco, además de alterar parte de su estructura. Pese a este error, se conservaron en unas condiciones aceptables y se continuó con el experimento.

LAVADO

El lavado se realizó por la noche y no se pudo tomar ninguna fotografía pero el proceso fue metódico y quedó recogido. Al ser una cantidad grande de alga, se tuvo que realizar por dosis, realizando las mismas fases por cada una de ellas:

- Fase 1 Sumergido total del alga: en este primer paso se remojó el alga para desalar y limpiar las posibles impurezas.
- Fase 2 Cambio de agua: Se vació y relleno la cubeta un total de 3 veces, para garantizar la limpieza total de impurezas y restos salinos.
- Fase 3 Compresión manual: *Rugulopteryx Okamurae* es un alga muy absorbente, con lo que ejercer presión manualmente para escurrir el agua sobrante fue crucial para realizar la deshidratación posterior.

Caracterización



SECADO AL AIRE

Tras el lavado se realizó un sistema de secado en el que se buscó una acumulación del alga lo más esparcida y ventilada posible, para evitar posibles problemas de descomposición. Tras 24 horas con este sistema se buscó un sistema más efectivo colocando debajo de un forjado sanitario una fuente de calor para que el alga se deshidratara más rápido.

Nota: Debido a las grandes cantidades de alga, la imposibilidad de utilizar las instalaciones del taller de materiales de la ETSAM para el secado de estas (debido a las obras) y el poco tiempo para la finalización de este TFG se optaron por medios de secado menos eficaces y más degradativos.



Fig 121. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de primer sistema casero para un primer secado del alga.



Fig 122. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de fuente de calor junto a sistema de forjado sanitario.



Fig 123. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de segundo sistema casero para realizar el secado del alga.



Caracterización



Fig 124. Fuente: Elaboración propia. Fotografía del horno 1 utilizado para secado, capacidad 200g.



Fig 125. Fuente: Elaboración propia. Fotografía del horno 2 utilizado para secado, capacidad 100g.



Fig 126. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de batidora utilizada para la pulverización.

SECADO AL HORNO

Para realizar un secado con horno eléctrico de cocina se colocó una temperatura de 100 grados dejando el horno entreabierto para evitar así que se acumule humedad en su interior. La duración de la deshidratación fue de 30 minutos por tanda (200 gramos de alga en horno grande y 100 gramos de alga en el pequeño) y en cada mitad, se removían las algas para mejorar el secado.

MOLIENDA

La molienda se realizó mediante una batidora de cocina. Primeramente se iban introduciendo de 20 en 20 gramos para una mejor pulverización y cuando se tenían 100 gramos se volvían a introducir para generar un polvo más fino.



Fig 127. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de comparativa volumétrica de 130 g fibra y polvo.

Caracterización



CENTRO DE ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN

Tras este primer tratamiento se realizó un análisis del material bajo los electrones de un Microscopio electrónico de barrido. Para llevar a cabo dicho proceso se visitó el C.A.I (centro de asistencia a la investigación) de la Universidad de Ciencias Geológicas de la Complutense de Madrid, donde se estudiaron los dos estados del alga ya explicados con anterioridad. El fin de este análisis busca comprender la estructura formal y elemental de este residuo para estimar y comprender como puede reaccionar frente a diferentes materiales del mundo de la construcción.



Fig 128. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de la puerta de entrada del C.A.I.

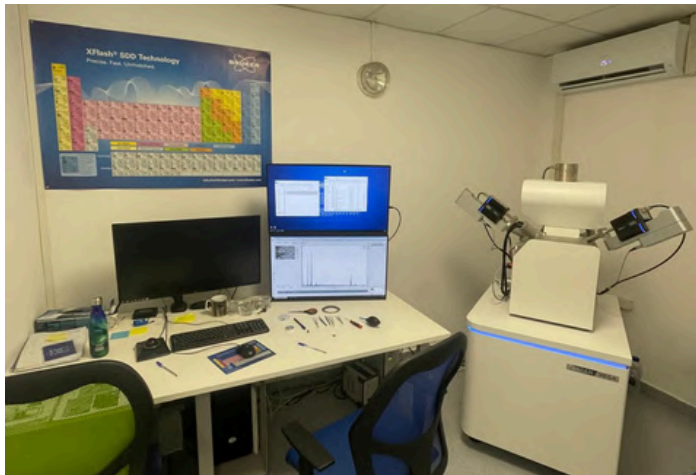


Fig 129. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de l interior del laboratorio C.A.I, en el que se muestra el microscopio electrónico.



Fig 130. Fuente: Elaboración propia. Fotografía de la fachada principal de la universidad de Ciencias Geológicas de la Complutense.

Caracterización



MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Este tipo de microscopio emite un haz de electrones (mediante un cañón de electrones) que recorre la superficie de la muestra punto por punto y permite obtener imágenes de alta resolución de su topografía y estructura. Para la preparación previa del material, éste se coloca en un portamuestras giratorio denominado “revólver”, que facilita su orientación y estabilización durante la observación. Posteriormente, se aplica un recubrimiento conductor mediante una fina capa de oro, con el objetivo de mejorar la conductividad superficial del material, y sean captados con mayor facilidad por los detectores.

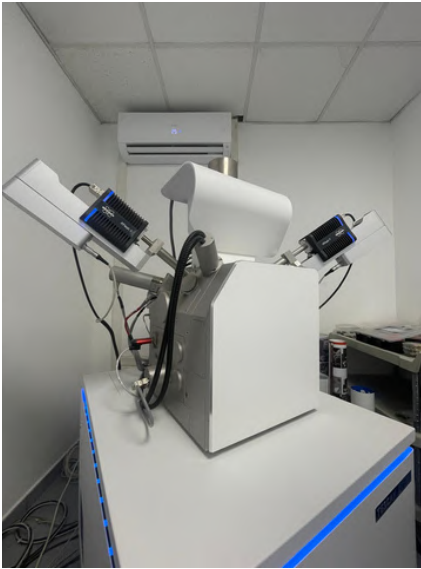


Fig 131. Fuente: elaboración propia. Fotografía del SEM del C.A.I.



Fig 132. Fuente: elaboración propia. Fotografía del interior del SEM.

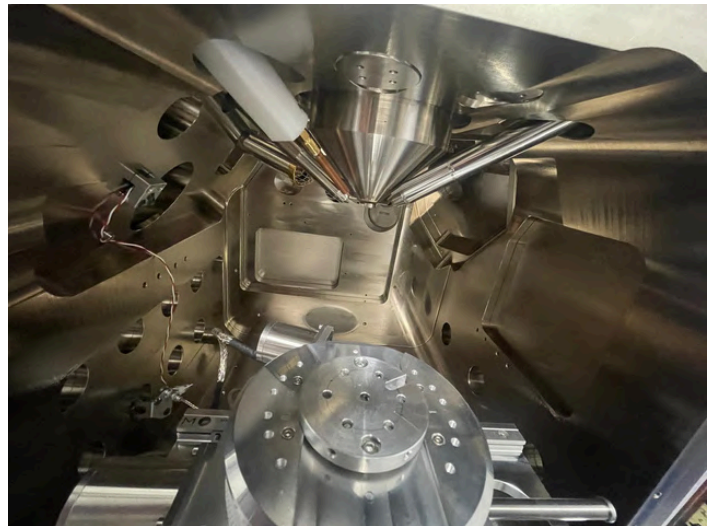


Fig 133. Fuente: elaboración propia. Fotografía del interior del SEM en la que se muestran los detectores y el cañón de electrones.

Caracterización



Este microscopio posee tres métodos para analizar un compuesto.

1. Imagen por electrones secundarios SE (Secondary Electrons)

El análisis SE se basa en la detección de electrones secundarios generados cuando un haz de electrones primario incide sobre la superficie de una muestra. El haz barre la muestra en un patrón de líneas y los detectores captan los electrones secundarios, formando imágenes con un alto contraste topográfico y detalles finos de la superficie, que reflejarán principalmente la morfología externa.

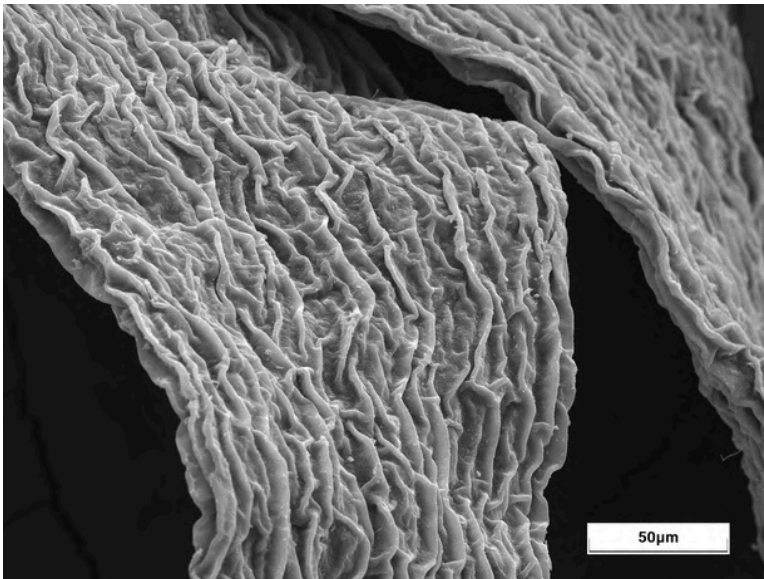


Fig 135. Fuente: elaboración propia. Imagen de SE con un aumento del 1000.

MUESTRA EN FIBRAS

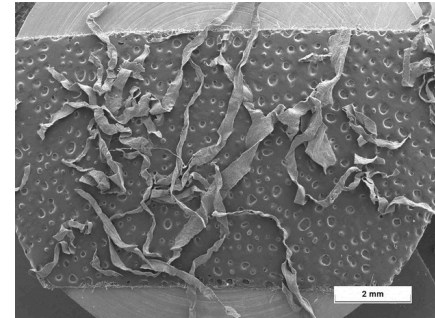


Fig 134. Fuente: elaboración propia. Imagen de SE con un aumento del 25.

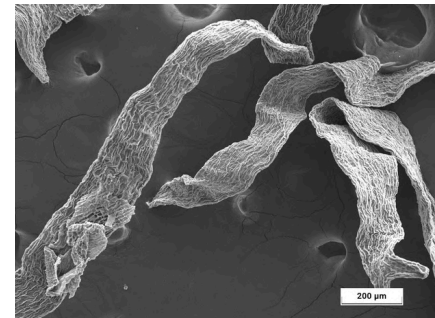


Fig 136. Fuente: elaboración propia. Imagen de SE con un aumento del 200.



MUESTRA EN FIBRAS

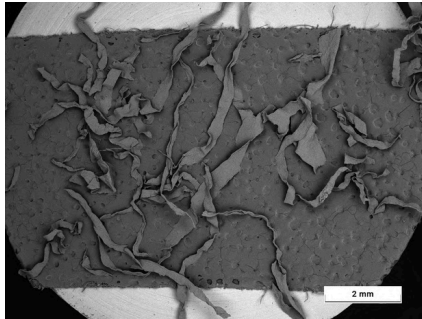


Fig 137. Fuente: elaboración propia. Imagen de BSE con un aumento del 25.

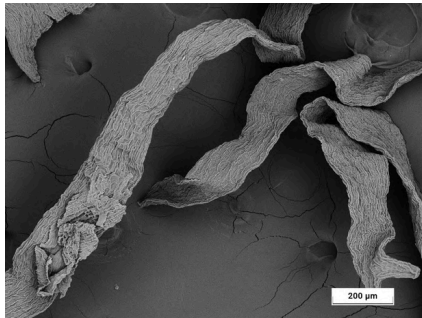


Fig 138. Fuente: elaboración propia. Imagen de BSE con un aumento del 200.

2. Imagen por electrones retrodispersados BSE (Backscattered Electrons)

Éste método recoge electrones primarios que rebotan hacia atrás desde la muestra. La información que se obtiene de estos electrones refleja el peso atómico de los elementos de la muestra, con más brillo los elementos más pesados y más oscuros los más ligeros. Permite ver la composición química aproximada o diferencias entre materiales dentro de la muestra, aunque en este caso, al tratarse de un solo material no presenta grandes contrastes.

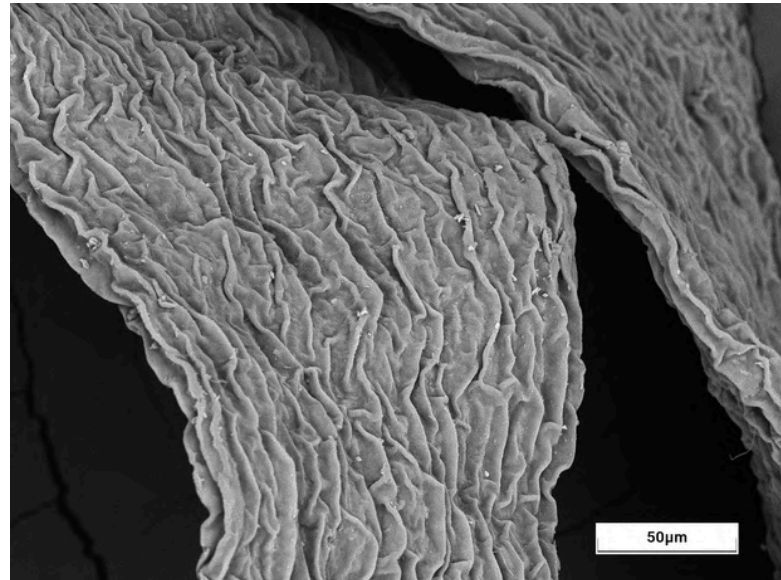
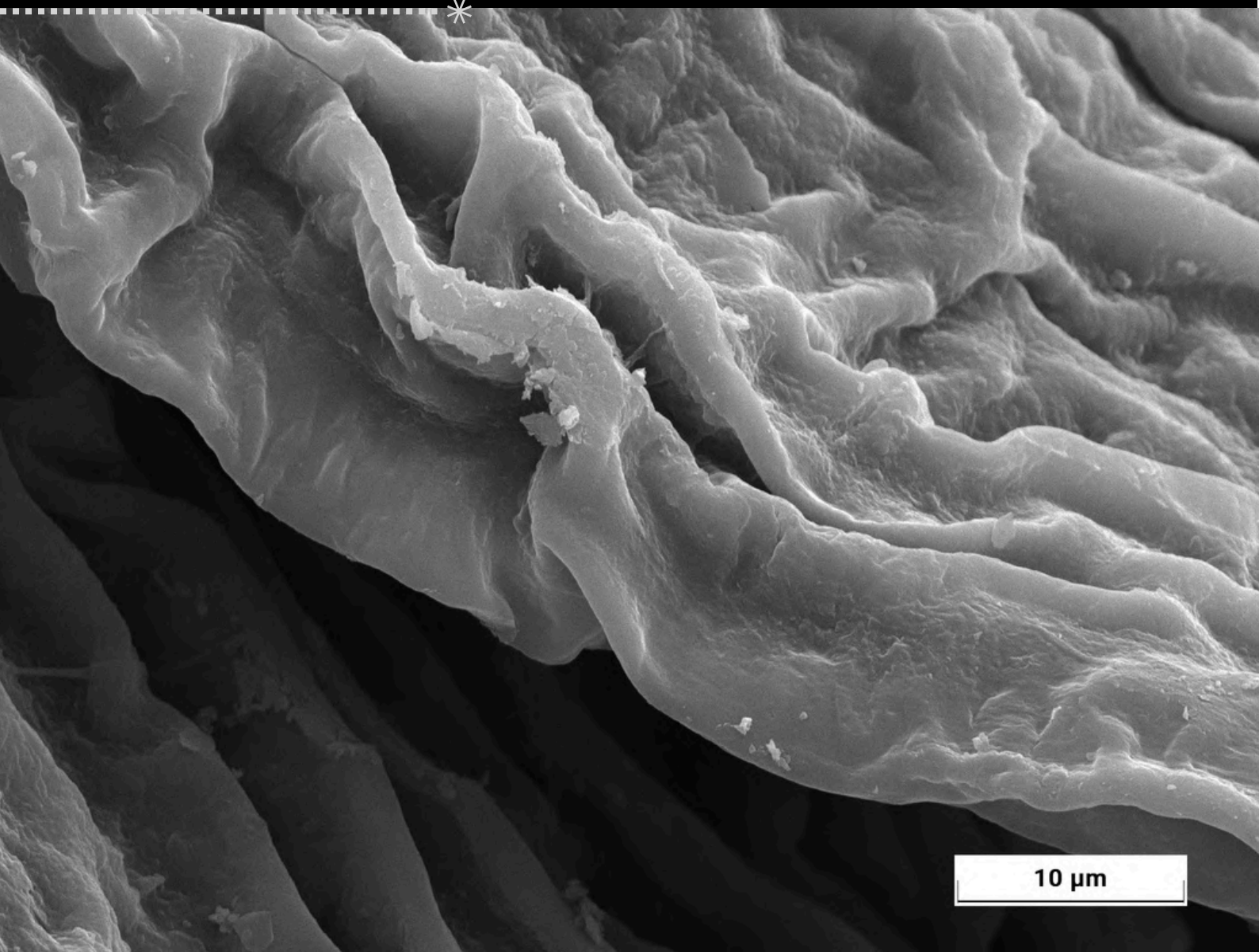
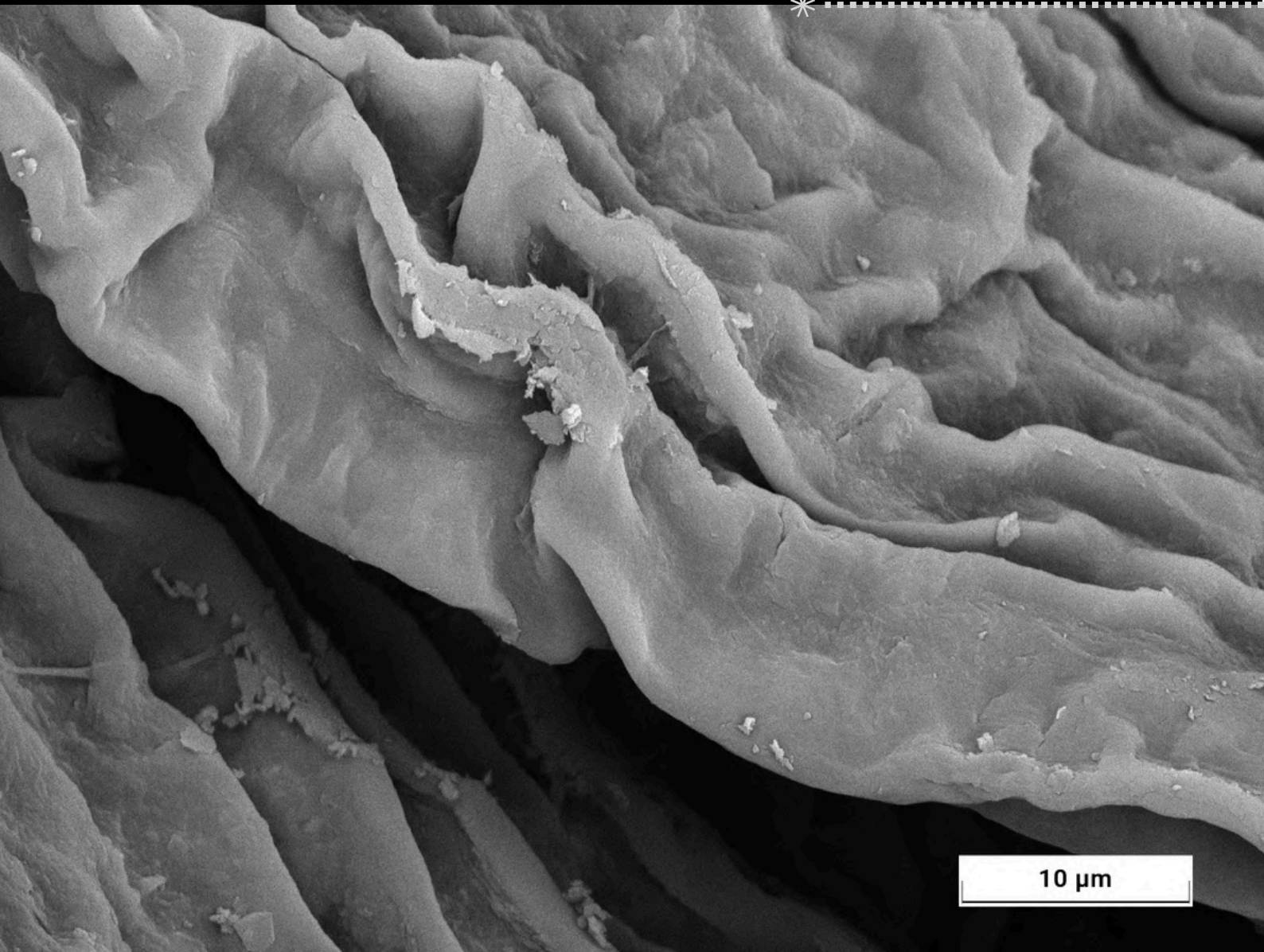


Fig 139. Fuente: elaboración propia. Imagen de BSE con un aumento del 1000.

Caracterización *



Caracterización



10 μm

Caracterización



1. Imagen por electrones secundarios SE (Secondary Electrons)

Para la caracterización morfológica y química de las muestras se ha empleado la microscopía electrónica de barrido (MEB). El estudio se ha realizado con un microscopio TESCAN Vega 4 (alto/bajo vacío) operando a 20kV con Cátodoluminiscencia a color y 2 detectores EDX Bruker (30 y 60 mm²). Las muestras se han recubierto con Oro (metalizadora Cressington 108auto) para asegurar una buena conductividad ante el haz de electrones.

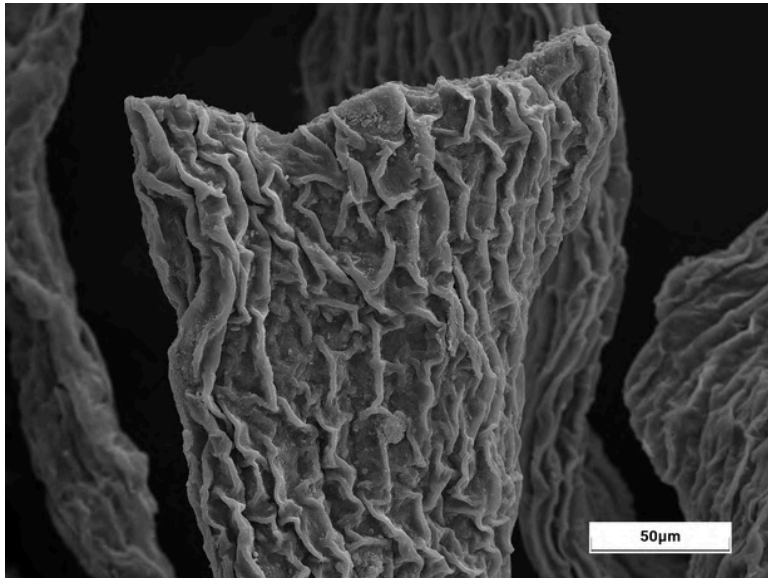


Fig 143. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo un SE con un aumento del 1000.

MUESTRA EN FIBRAS

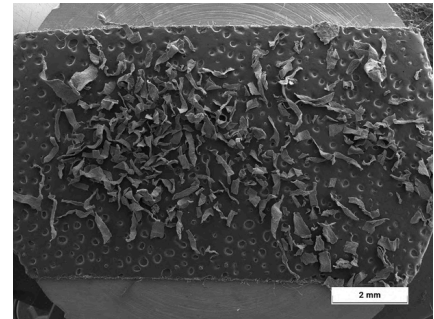


Fig 142. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo un SE con un aumento del 25.

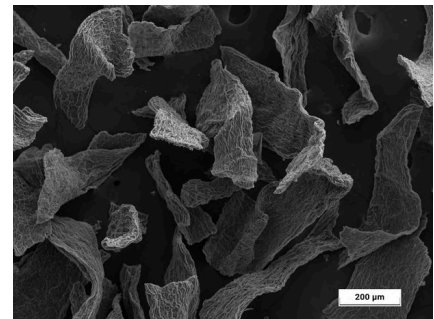


Fig 144. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo un SE con un aumento del 200.



MUESTRA EN FIBRAS



Fig 145. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo BSE con un aumento del 25.

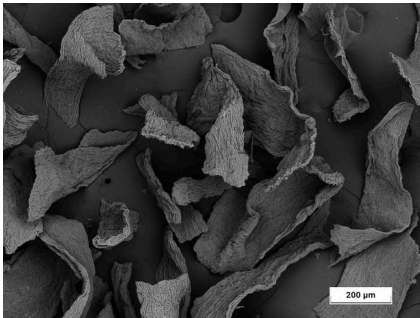


Fig 146. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo BSE con un aumento del 200.

2. Imagen por electrones retrodispersados BSE (Backscattered Electrons)

Éste método recoge electrones primarios que rebotan hacia atrás desde la muestra. La información que se obtiene de estos electrones refleja el peso atómico de los elementos de la muestra, con más brillo los elementos más pesados y más oscuros los más ligeros. Permite ver composición química aproximada o diferencias entre materiales dentro de la muestra, aunque en este caso, al tratarse de un solo material no presenta grandes contrastes.

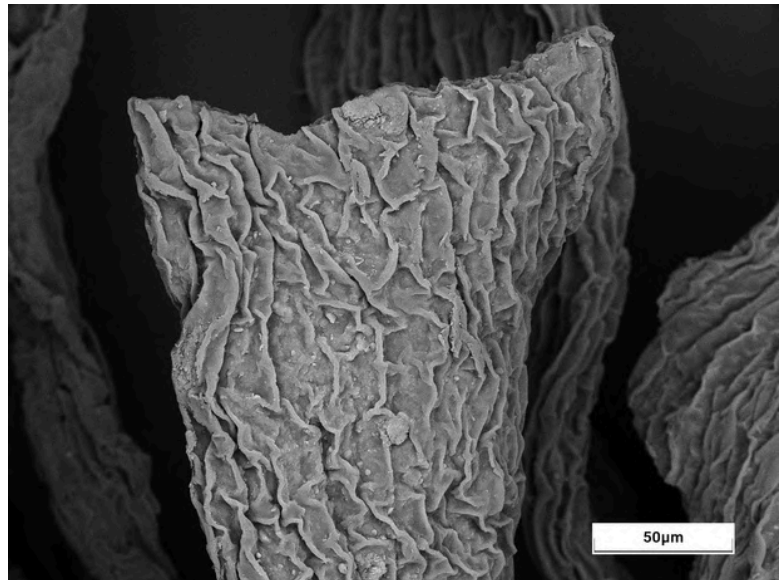
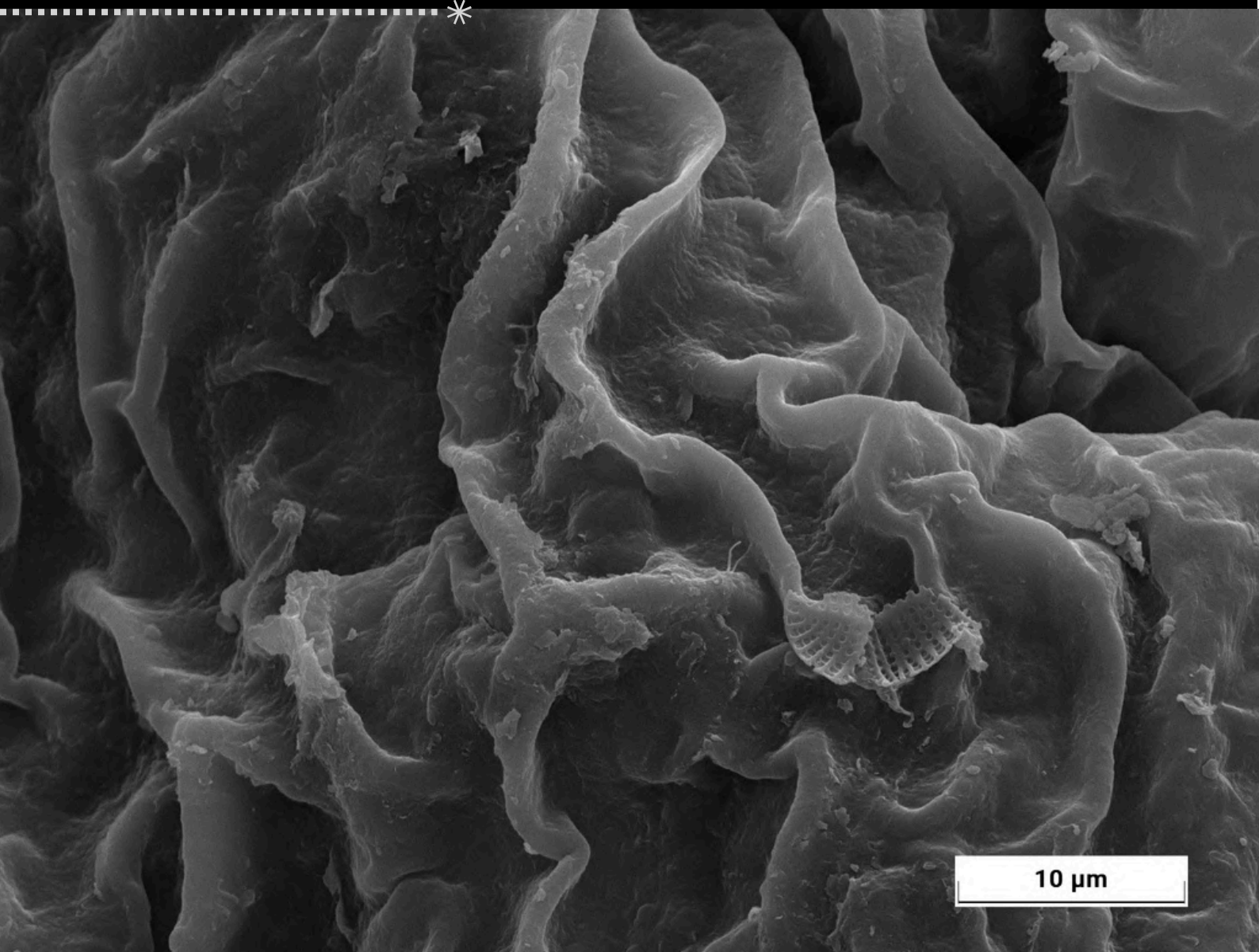


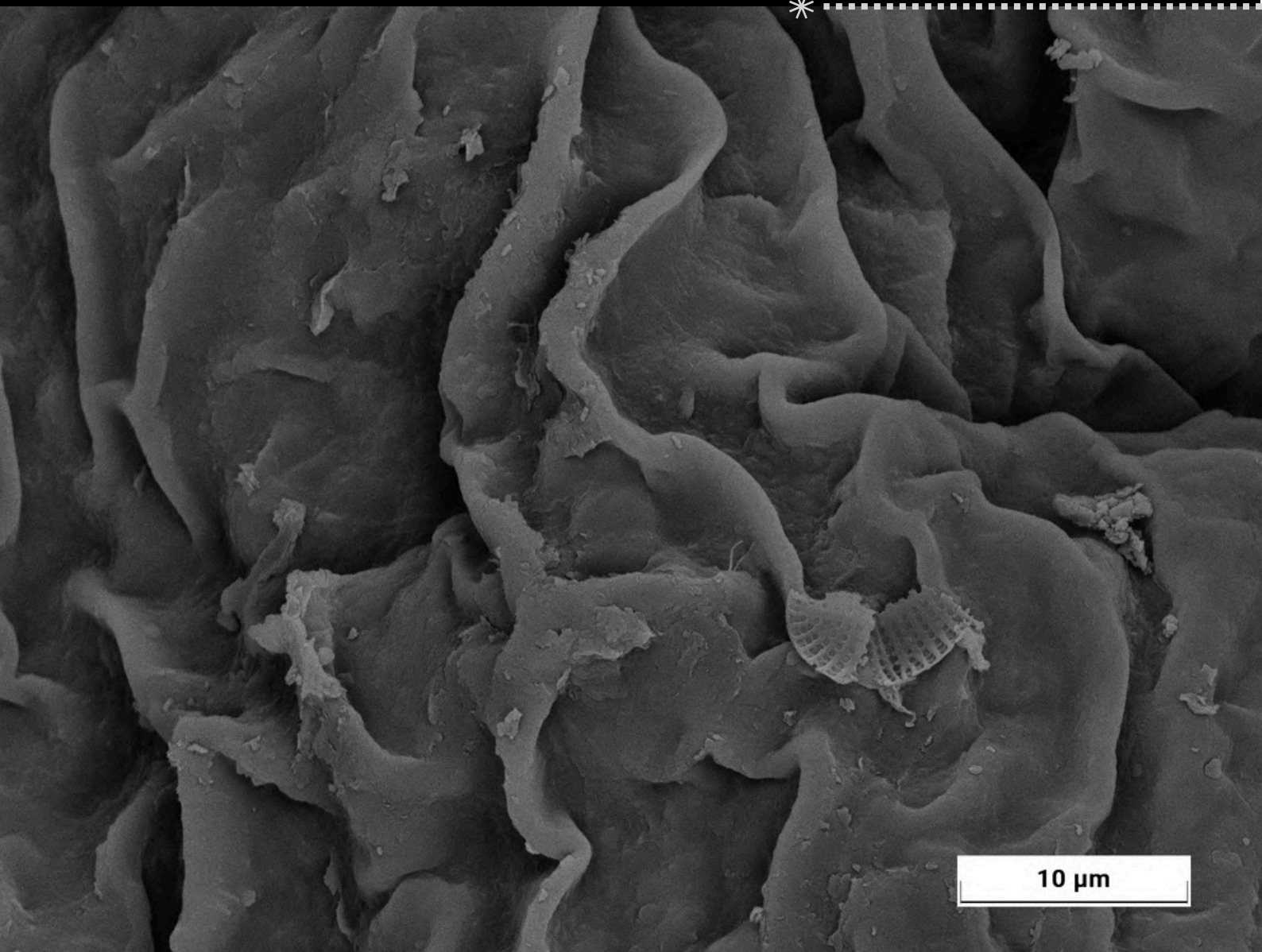
Fig 147. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo BSE con un aumento del 1000.

Caracterización



Caracterización

**



10 μm

Fig 149. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo BSE con un aumento del 5000.

Caracterización



3. Espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDX) Alga en fibras.

Funciona como complemento de las imágenes BSE, es decir, los electrones primarios del SEM golpean la muestra excitando sus átomos, como consecuencia se emiten rayos X característicos de cada elemento que más tarde serán identificados por un detector que mide la energía de estos rayos X. Todo esto permite identificar qué elementos están presentes y en qué proporción aproximada, con lo que con este análisis se pueden saber los elementos de los que está compuesto un material.

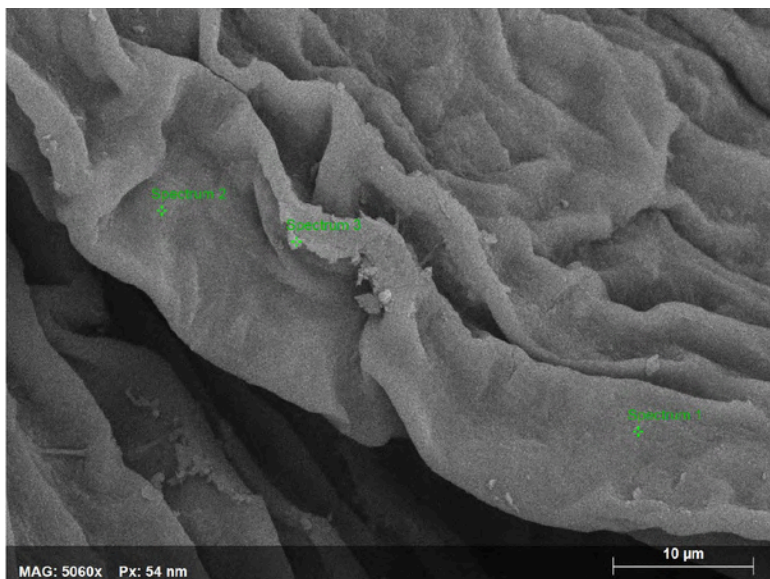


Fig 150. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo un SEM con un aumento del 5000 y la colocación de los puntos para el análisis EDX.

Spectrum 1

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	140	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	136	2,13	30,67	50,00		0,00	0,00	9,96
Mg	12	33	0,80	11,55	12,39	MgO	1,33	19,15	32,09
Ca	20	112	4,02	57,78	37,61	CaO	5,62	80,85	23,62
Sum		6,96	100,00	100,00			6,96	100,00	

Tabla 4. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 1.

Spectrum 2

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	81	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	59	2,05	29,42	50,00		0,00	0,00	15,51
Mg	12	8	0,34	4,80	5,37	MgO	0,56	7,97	78,67
Ca	20	85	4,59	65,78	44,63	CaO	6,42	92,03	27,76
Sum		6,98	100,00	100,00			6,98	100,00	

Tabla 5. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 2.

Spectrum 3

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	99	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	94	2,37	36,84	55,91		0,00	0,00	12,41
Mg	12	9	0,22	3,37	3,37	MgO	0,36	5,59	77,14
Al	13	10	0,39	6,05	5,44	Al ₂ O ₃	0,74	11,42	59,82
Si	14	24	0,68	10,53	9,10	SiO ₂	1,45	22,53	41,58
Ca	20	80	2,78	43,21	26,18	CaO	3,89	60,46	25,00
Sum		6,44	100,00	100,00			6,44	100,00	

Tabla 6. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 3.

Caracterización

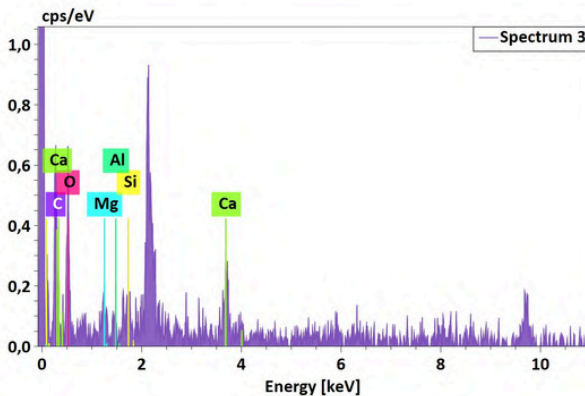
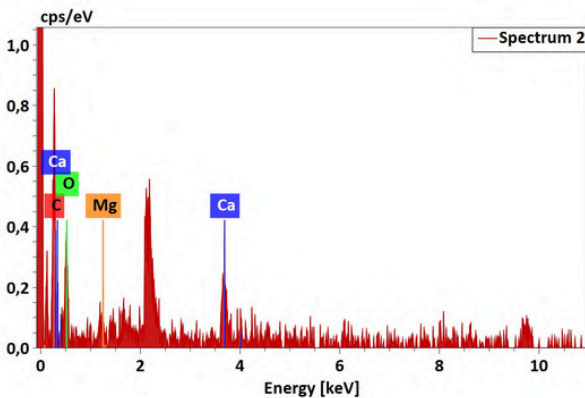
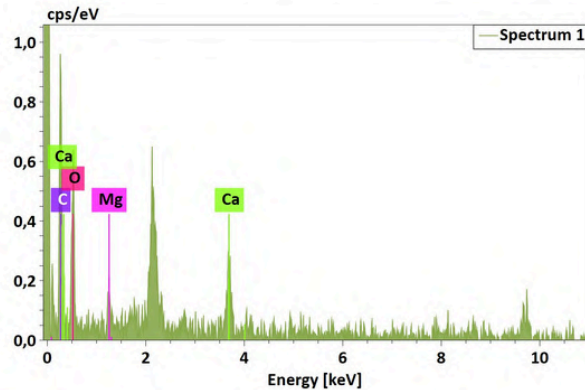


GRÁFICAS DE LA EDX

La composición de las algas y las plantas normalmente está basada en su totalidad por carbono y oxígeno, pero el análisis EDX muestra picos de otros elementos en las gráficas generadas.

Para entender el pico de Silicio del Spectrum 3 se llega a la conclusión de que viene dado por la presencia de diatomeas y otros restos marinos que pueden haber quedado tras el lavado, no obstante aparecen otros dos elementos (calcio y magnesio) que no tienen una clara asociación a restos, sino que aparecen directamente en la composición del alga.

Las gráficas que aparecen en la página son realizadas mediante el microscopio del C.A.I y reflejan el porcentaje de cada elemento que compone el punto seleccionado en la imagen de la muestra con 500 aumentos.



Caracterización

3. Espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDX) Alga en polvo.

En la imagen de 5000 aumentos de la muestra en polvo se pueden apreciar los residuos marinos mencionados en el anterior análisis EDX. Por esta razón se recogen 4 puntos diferentes dos de los cuales estarán directamente sobre el alga sin ningún tipo de sedimento, y otros dos colocados sobre la estructura de la diatomea (Spectrum 3) y el residuo deforme (Spectrum 4)

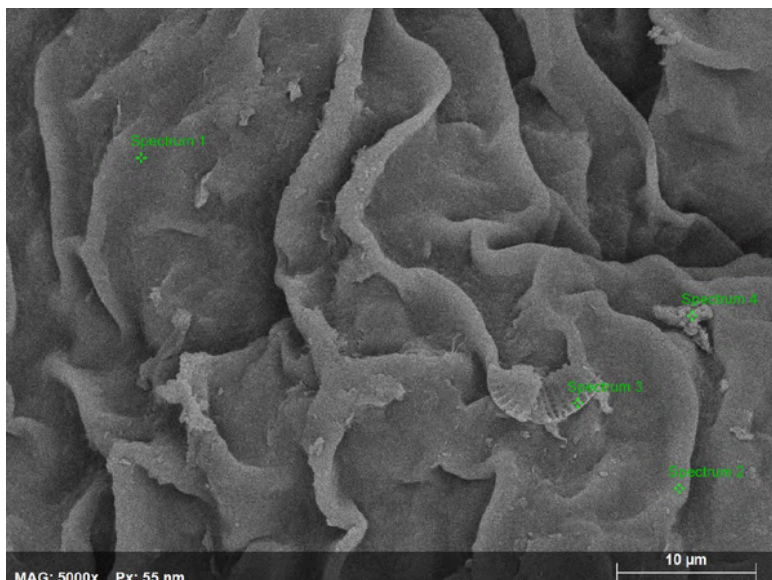


Fig 151. Fuente: elaboración propia. Imagen del alga en polvo bajo un SEM con un aumento del 5000 y la colocación de los puntos para el análisis EDX.

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	149	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	88	2,10	30,60	50,00		0,00	0,00	12,27
Mg	12	39	0,76	11,15	12,00	MgO	1,27	18,50	31,28
Ca	20	122	3,99	58,25	38,00	CaO	5,58	81,50	22,38
Sum		6,85	100,00	100,00			6,85	100,00	

Tabla 7. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 1.

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	109	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	68	0,73	28,53	50,00		0,00	0,00	14,45
Ca	20	52	1,82	71,47	50,00	CaO	2,54	100,00	26,72
Sum		2,54	100,00	100,00			2,54	100,00	

Tabla 8. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 2.

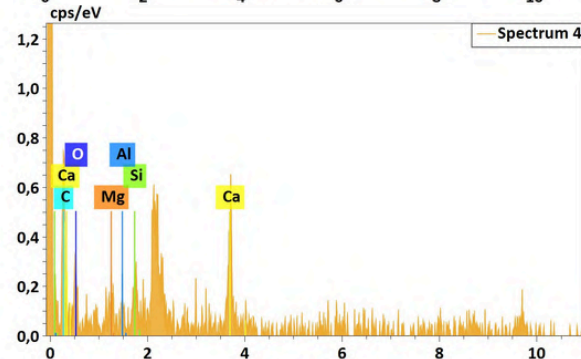
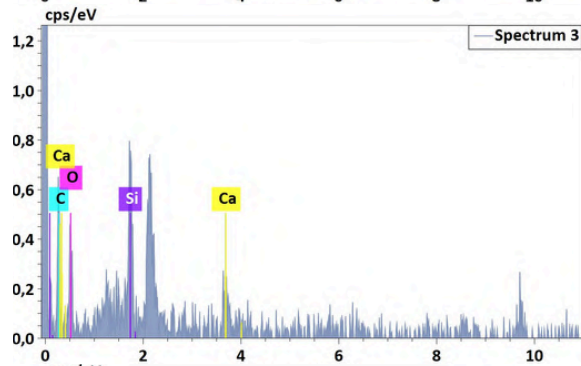
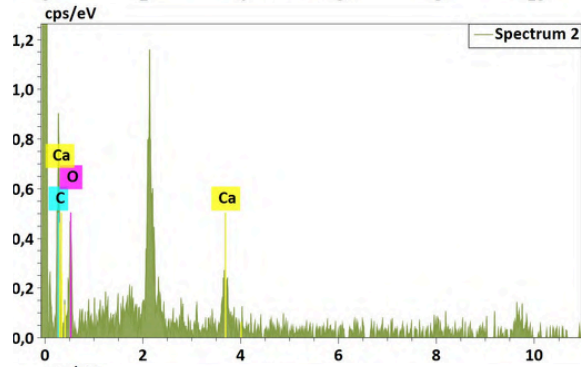
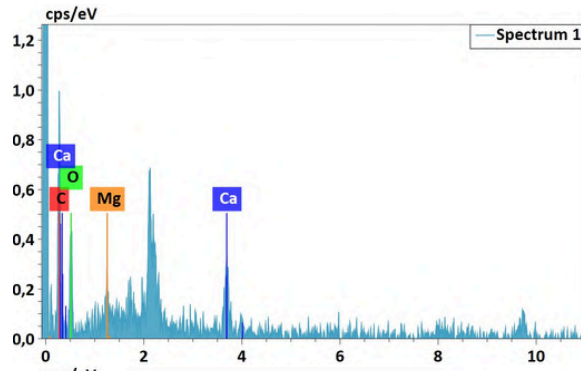
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	65	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	51	3,34	41,55	60,15		0,00	0,00	15,98
Si	14	125	1,98	24,61	20,30	SiO ₂	4,24	52,66	20,51
Ca	20	50	2,72	33,83	19,55	CaO	3,81	47,34	31,44
Sum		8,05	100,00	100,00			8,05	100,00	

Tabla 9. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 3.

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Comp.	Sto. [%]	Sto. Norm. [%]	rel. error [%] (1 σ)
C	6	60	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
O	8	36	3,54	36,52	55,94		0,00	0,00	19,52
Mg	12	4	0,17	1,78	1,79	MgO	0,29	2,95	118,91
Al	13	16	0,59	6,13	5,57	Al ₂ O ₃	1,12	11,58	40,78
Si	14	31	1,01	10,42	9,10	SiO ₂	2,16	22,30	32,35
Ca	20	110	4,37	45,15	27,61	CaO	6,12	63,17	24,66
Sum		9,69	100,00	100,00			9,69	100,00	

Tabla 10. Fuente: elaboración propia. Tabla del porcentaje de presencia atómica de los elementos que aparecen en el Spectrum 4.

Caracterización



GRÁFICAS DE LA EDX

Queda reflejado en las gráficas de los Spectrum 1 y 2 que, al no haber ninguna impureza, la composición vuelve a ser igual a los del análisis EDX anteriores. Sin embargo en las gráficas de los Spectrum 3 y 4, al colocarse sobre impurezas, señala en su composición picos de aluminio y sílice, elementos que no están presentes directamente en la estructura del alga *Rugulopteryx*.

Las gráficas que aparecen en la página son realizadas mediante el microscopio del C.A.I y reflejan el porcentaje de cada elemento que compone el punto seleccionado en la imagen de la muestra con 5000 aumentos.

Experimentación



La experimentación se llevará a cabo integrando el alga en diversas matrices y proporciones, aunque también se evaluará el material en estado puro para determinar sus propiedades intrínsecas sin tratamientos previos. Con el fin de diversificar los resultados, se elaborarán distintas probetas empleando el alga tanto en formato de fibra como en polvo.

La metodología de clasificación consistirá en 3 numeros colocados en serie a este modo:

XX . XX . XX

- | | | |
|------------|-------------------------|--------|
| ⊙1 Yeso | ⊙1 Alga en polvo < 2 mm | ⊙1 N°1 |
| ⊙2 Cemento | ⊙2 Alga en polvo < 1 mm | ⊙2 N°2 |
| ⊙3 Arcilla | ⊙3 Alga en fibra | ⊙3 N°3 |
| ⊙4 Papel | | ⊙X N°X |
| ⊙5 Alga | | |

ALGA
0 g
12 g
60 g
100 g
160 g
260 g

Experimentación

*

Fibra	Polvo	Fibra	Polvo	Fibra	Polvo	Fibra	Polvo
YESO		CEMENTO		ARCILLA		PAPEL	
							04.01.01
	01.01.01	02.02.01					
01.02.01							
01.02.02	01.01.02	02.02.02			03.01.01		
01.02.03	01.01.04				03.01.02		

Tabla II. Fuente: elaboración propia. Tabla de número de probetas realizadas junto a cantidad y estado del alga.

Experimentación



FABRICACIÓN PROBETAS PARA MOLDE

Para llevar a cabo las probetas se fabricaron 3 moldes de madera aglomerada forrado con vinilo impermeable reciclada de unas cajoneras inutilizables. La perforación de huecos en los tableros para insertar tacos plásticos fue crucial para la reutilización de estos moldes, consiguiendo mayor durabilidad sin degradar demasiado el tablero aglomerado. Para crear las probetas primero se realizó la mezcla, que posteriormente se vertió en los moldes para su posterior fraguado.



Fig 152. Fuente: elaboración propia. Fotografía de probeta realizada en madera.

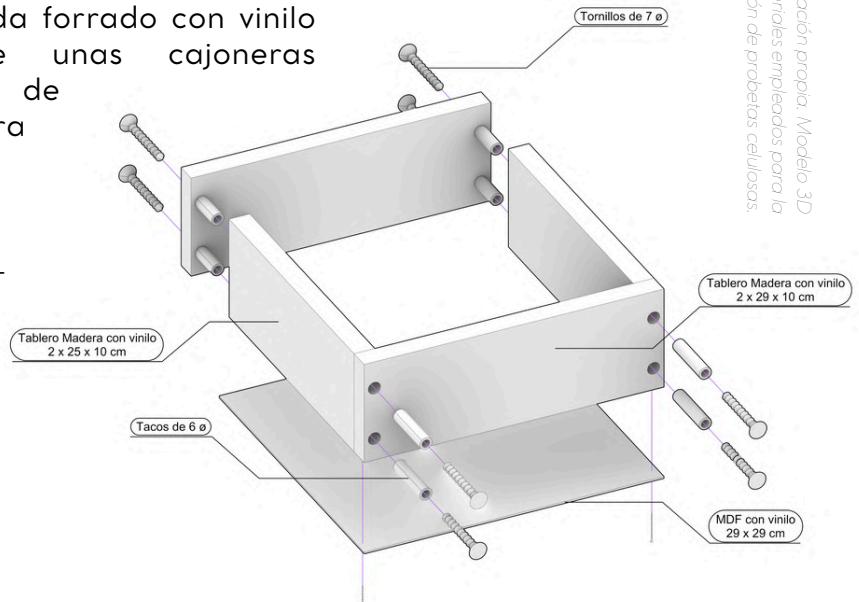


Fig 153. Fuente: elaboración propia. Modelo 3D de Rinocero con materiales empleados para la fabricación de probetas celulares.

Fig 154. Fuente: elaboración propia. Modelo 3D de Rinocero con cotas y volumetría marcada por el mortero.

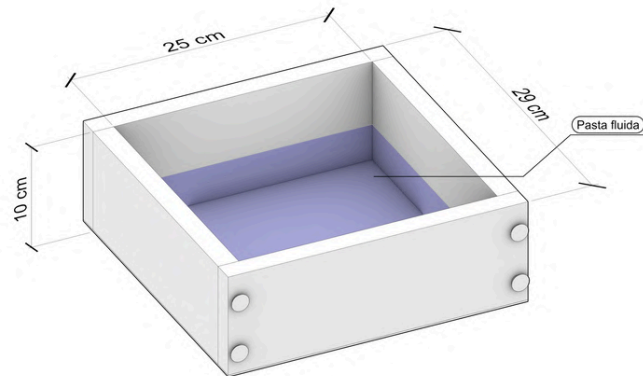


Fig 155. Fuente: elaboración propia. Modelo 3D de Rhinocero con materiales empleados para la fabricación de probetas celulósas.

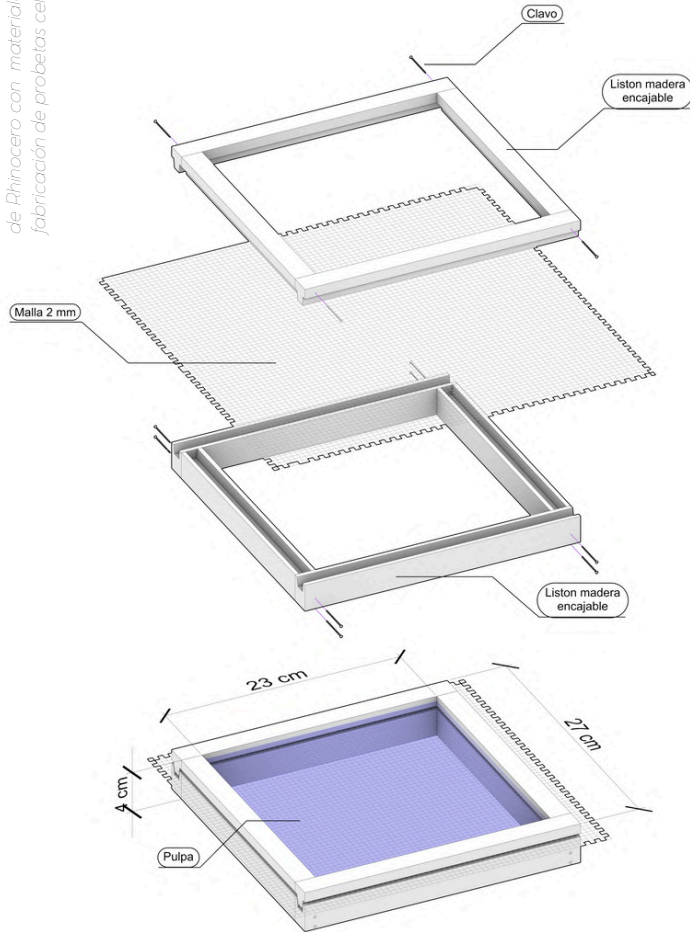


Fig 156. Fuente: elaboración propia. Modelo 3D de Rhinocero con cotas y volumetría marcada por el mortero.

Experimentación



Fig 157. Fuente: elaboración propia. Fotografía de bastidor para pulpas realizado en madera.

También se crea una segunda probeta fabricada para las composiciones de materiales a base de pulpa y alga. Consiste en un sistema de encaje cuadrado que, al colocarle una malla tensa entre sus dos partes al encajar, permite utilizar el dispositivo en un bastidor.

Se explicará más detalladamente en el apartado de "EXPERIMENTACIÓN"

Experimentación



Experimentación



YESO + ALGA EN POLVO

Muestra 01.01.01

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 60 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Polvo granu. <2mm
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Estufa de secado

Observaciones: Al mezclar el alga en polvo con el yeso, este dejaba de levantar partículas ya que se adhería a la superficie del polvo. Durante el vertido de agua se vio clara una separación bifásica que tras la mezcla volvió a ser monofásica. El fraguado se retarda dado que el alga absorbe inmensas cantidades de agua, necesiándose más tiempo para su deshidratación.



Fig 158. Fuente: elaboración propia. Fotografía elementos utilizados para la mezcla.

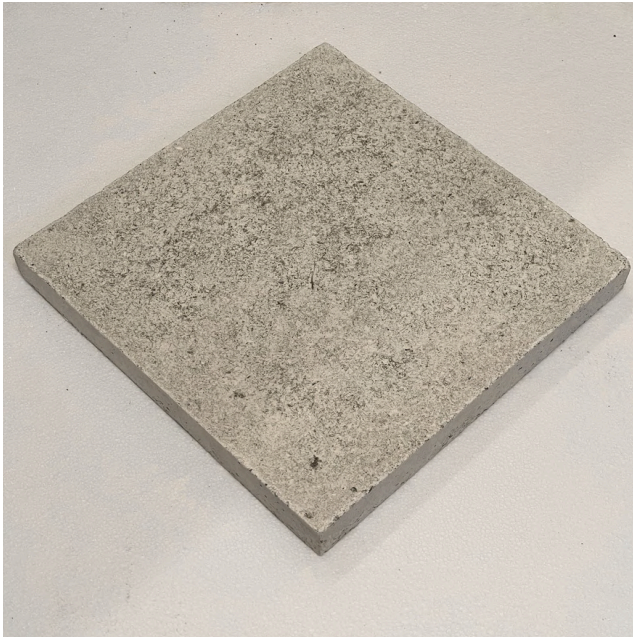


Fig 159. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.01.01 con un 6 % de alga.

Fig 160. Fuente: elaboración propia. Fotografías proceso de mezcla y vertido.



Experimentación



Fig 161. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.01.02 con un 10 % de alga.

Muestra 01.01.02

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 165 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Polvo granu. <2mm
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 162. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.01.03 con un 10 % de alga.

Muestra 01.01.03

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 160 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Polvo granu. <1mm
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno

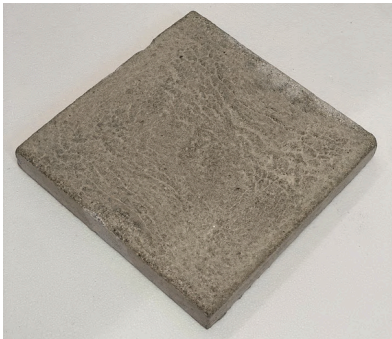


Fig 163. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.01.04 con un 16,25 % de alga.

Muestra 01.01.04

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 260 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Polvo granu. <1mm
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno

Experimentación



Muestra 01.02.01

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 100 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 164. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.02.03 con un 10 % de alga.

Muestra 01.02.02

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 160 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 165. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.02.03 con un 10 % de alga.

Muestra 01.02.03

- Cantidad de Yeso: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 260 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 166. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 01.02.03 con un 16,25 % de alga.

Experimentación



Fig 157. Fuente: elaboración propia. Fotografía elementos utilizados para la mezcla.

CEMENTO + ALGA

Muestra 02.01.01

- Cantidad de Cemento: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 60 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Polvo granu. <2mm
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Estufa de secado

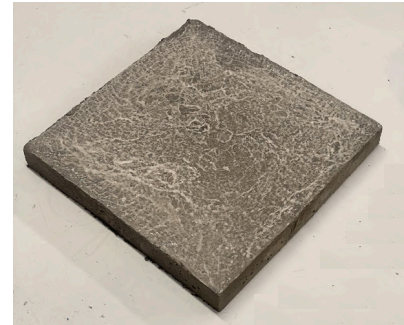


Fig 158. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 02.01.01 con un 10 % de alga.

Muestra 02.02.01

- Cantidad de Cemento: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 260 gramos
- Cantidad de Agua: 1000 mL
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 5 cm
- Tipo de secado: Horno

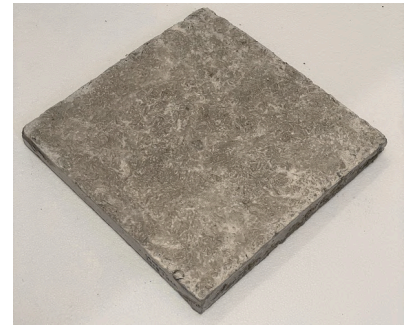


Fig 159. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 02.01.01 con un 16 % de alga.

Observaciones: Con esta mezcla se busca generar soleras autonivelantes aislantes, cemento aligerado y biocemento. La línea de probetas de cemento se abandonó dado que se necesitaban cantidades muy grandes para llegar a resultados positivos, con lo que se propondrá para futuras líneas de investigación.

Experimentación



ARCILLA + ALGA

Muestra 03.01.02

- Cantidad de Arcilla: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 260 gramos
- Cantidad de Agua: 1100 mL
- Estado del alga: Polvo granu. < 1 mm
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 3 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 160. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 03.01.02 con un 16 % de alga.

Muestra 03.02.01

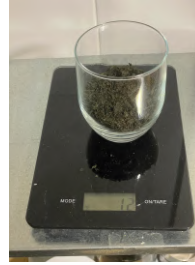
- Cantidad de Arcilla: 1600 gramos
- Cantidad de Alga: 160 gramos
- Cantidad de Agua: Arcilla húmeda
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño proveta: 25 x 25 x 5 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 161. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 03.02.01 con un 10 % de alga.

Observaciones: El propósito de esta mezcla era el de conseguir un bloque de adobe con alga pero las dimensiones establecidas en un principio para la realización de ensayos distorsionó el resultado sin poder llegar a completar la propuesta. La línea de probetas de arcilla se abandonó, dada la falta de medios, con lo que se propondrá para futuras líneas de investigación.

Experimentación



PULPA DE PAPEL + ALGA

Muestra 04.01.01

- Cantidad de Papel: 20 gramos
- Cantidad de Alga: 2 gramos
- Cantidad de Agua: 80 mL
- Estado del alga: Polvo granu. < 2mm
- Tamaño proveta: 23 x 23 x 0,01 cm
- Tipo de secado: Horno

Muestra 04.01.02

- Cantidad de Cemento: 180 gramos
- Cantidad de Alga: 10 gramos
- Cantidad de Agua: 800 mL
- Estado del alga: Polvo granu. < 2mm
- Tamaño proveta: 23 x 23 x 0,1 cm
- Tipo de secado: Horno

Observaciones: La cantidad de alga en la pulpa de papel se estima que puede ser mucho mayor, dada la buena calidad del folio de 100 de gramaje. Se propondrá en las futuras líneas de investigación para la utilización de este tipo de material en caras exteriores de Bio-paneles .



Fig 162. Fuente: elaboración propia. Fotografía papel reciclado con alga, 100 g.

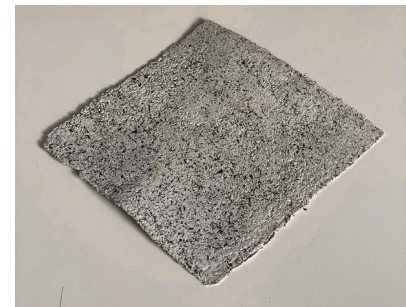
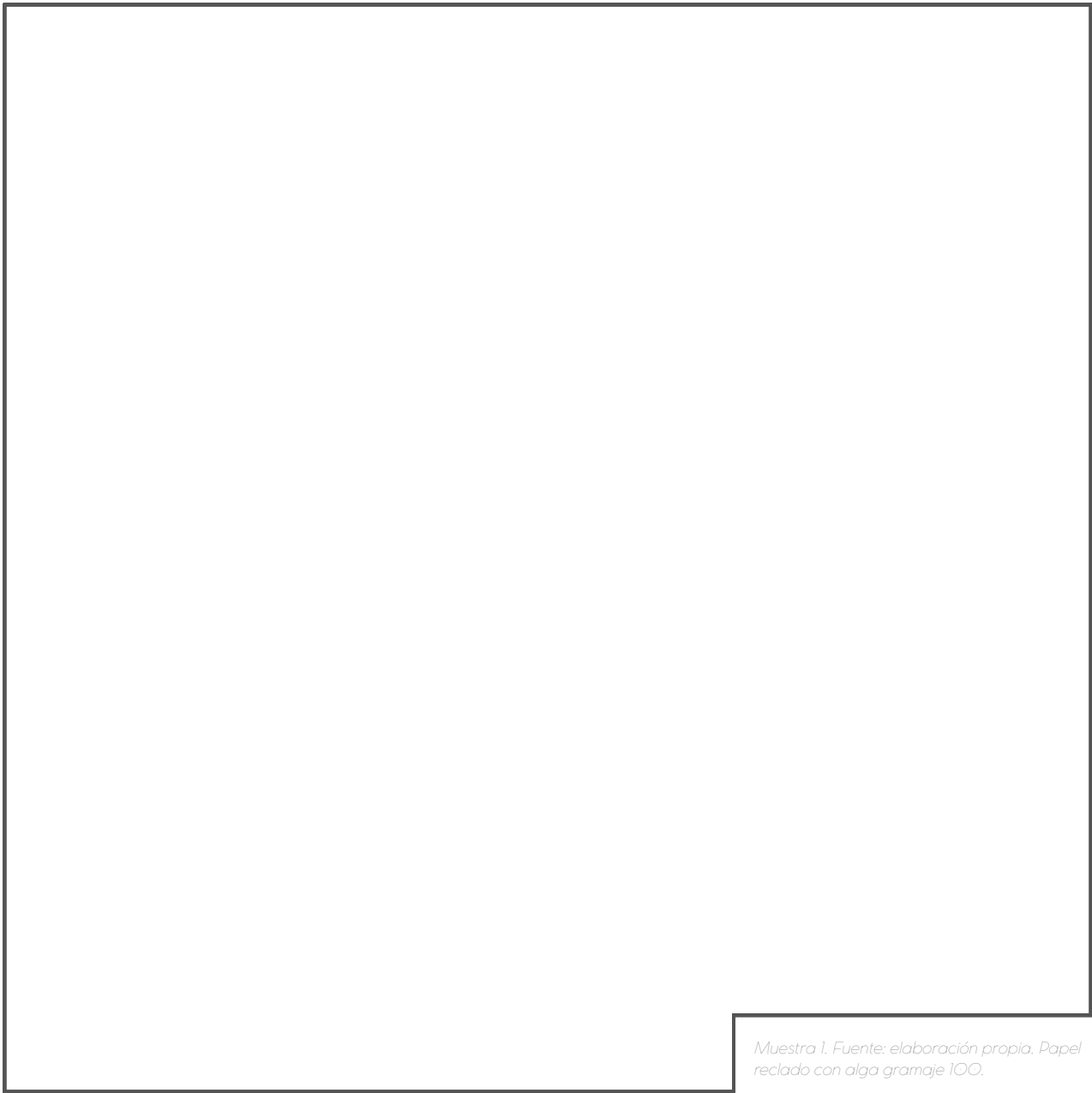
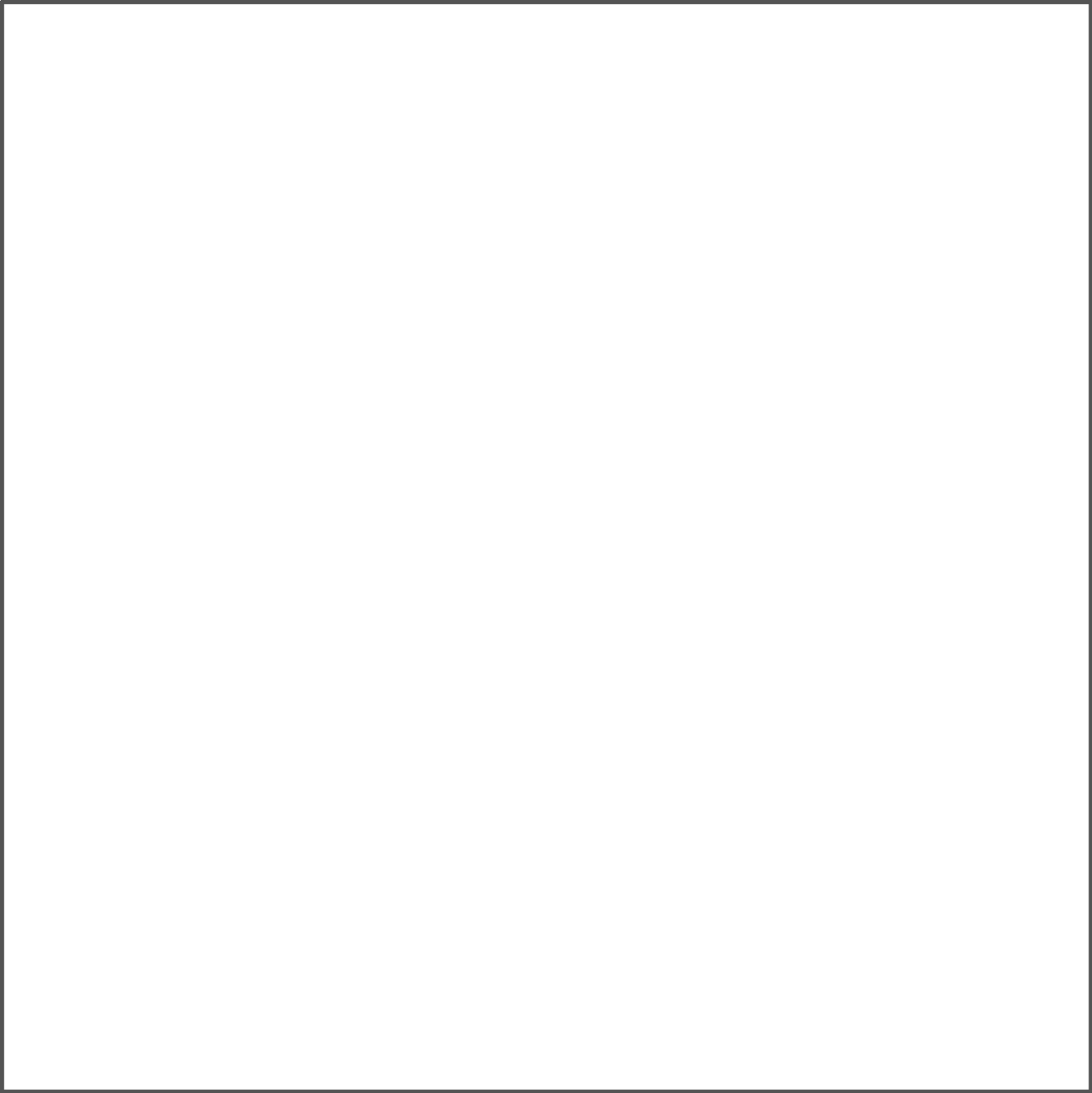


Fig 163. Fuente: elaboración propia. Fotografía papel reciclado con alga, 1000 g.



*Muestra 1. Fuente: elaboración propia. Papel
reciclado con algo gramaje 100.*



Experimentación



ALGA + ALGA

Muestra 05.02.01

- Cantidad de Alga: 160 gramos
- Cantidad de Agua: Deshidratada
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño probeta: 20 x 20 x 2 cm
- Tipo de secado: Horno



Fig 164. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 05.02.01, 100 % alga.

Muestra 05.02.02

- Cantidad de Alga: 130 gramos
- Cantidad de Agua: Deshidratada
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño probeta: 10 x 10 x 2 cm
- Tipo de secado: Estufa



Fig 165. Fuente: elaboración propia. Fotografía probeta 05.02.02 100 % alga.

Muestra 05.02.03

- Cantidad de Alga: 350 gramos.
- Cantidad de Agua: Deshidratada
- Estado del alga: Fibra
- Tamaño probeta: 25 x 25 x 4 cm
- Tipo de secado: Solar



Fig 166. Fuente: elaboración propia. Fotografía espesor probeta 05.02.02.

Observaciones: La falta de aglutinante para cohesionar las fibras supuso la pérdida de la integridad formal de la probeta que simplemente fue prensado. Se propone como posibles líneas de investigación la búsqueda de un elemento de cohesión para el alga.

Experimentación



PROBETA 01.02.03

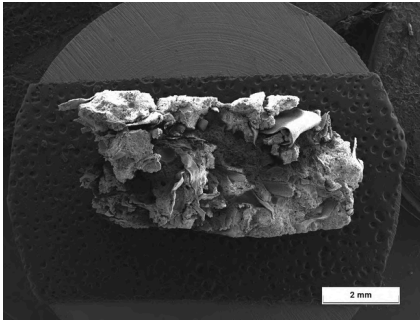


Fig 167. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + yeso bajo SE con un aumento del 20.

1. Imagen por electrones secundarios SE del biocomposite con Yeso y Alga en fibra

Observando las imágenes realizadas a través del microscopio electrónico del ICAI (anteriormente explicado pag 81 en adelante), se puede apreciar que la cristalización del yeso no llega a unirse directamente con el alga en fibra, una de las causas más directas es la deshidratación tardía del alga, que hace que pierda volumen, despegando así sus paredes de la mezcla de yeso. Otra posible razón es la funcionalidad negativa que le da la fibra, siendo una posible solución el uso de alga en polvo (debido al poco tiempo no fue posible analizar las muestras con yeso y polvo de alga).

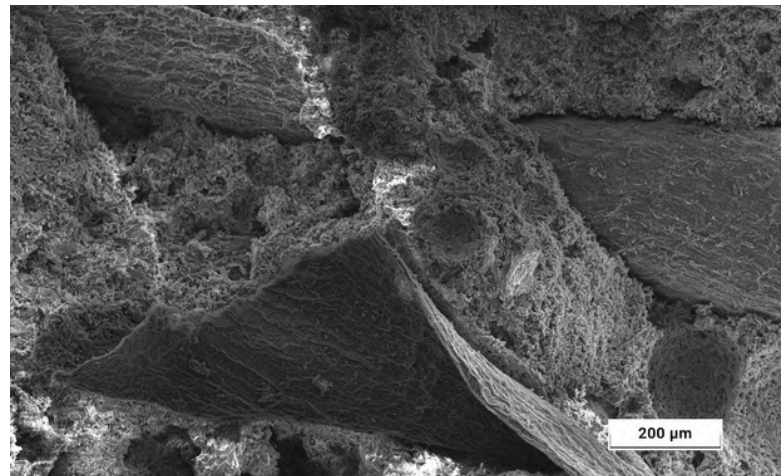


Fig 168. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + yeso bajo SE con un aumento del 200.

Experimentación

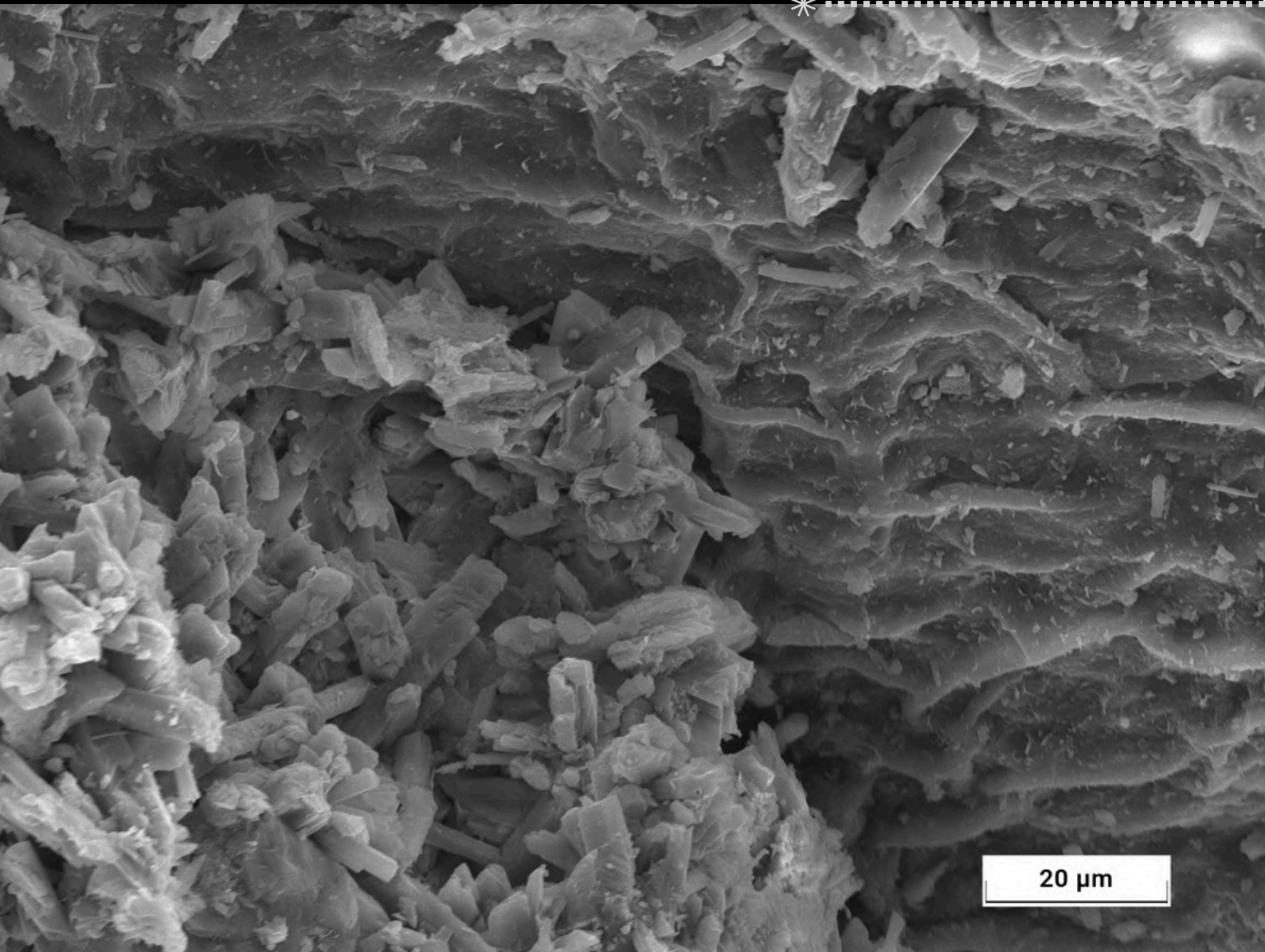


Fig 169. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + yeso bajo SE con un aumento del 2000.

Experimentación

PROBETA 01.02.03

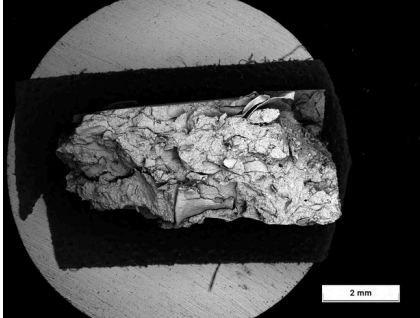


Fig 170. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + cemento bajo BSE con un aumento del 20.

1. Imagen por electrones retrodispersados BSE del biocomposite con Yeso y Alga en fibra

Observando las imágenes realizadas a través del microscopio electrónico se puede apreciar que la cristalización del cemento con el alga se rompe por una clara pérdida de volumen de parte del alga. Como el caso del yeso, otra posible razón es la funcionalidad negativa que aporta da la fibra de alga, siendo una posible solución el uso de alga en polvo (debido al poco tiempo no fue posible analizar las muestras con yeso y polvo de alga).

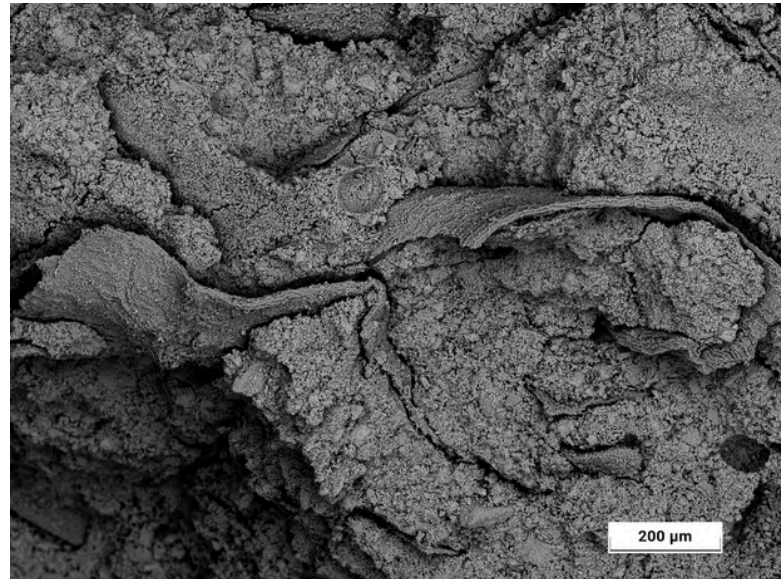


Fig 171. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + cemento bajo BSE con un aumento del 200.

Experimentación

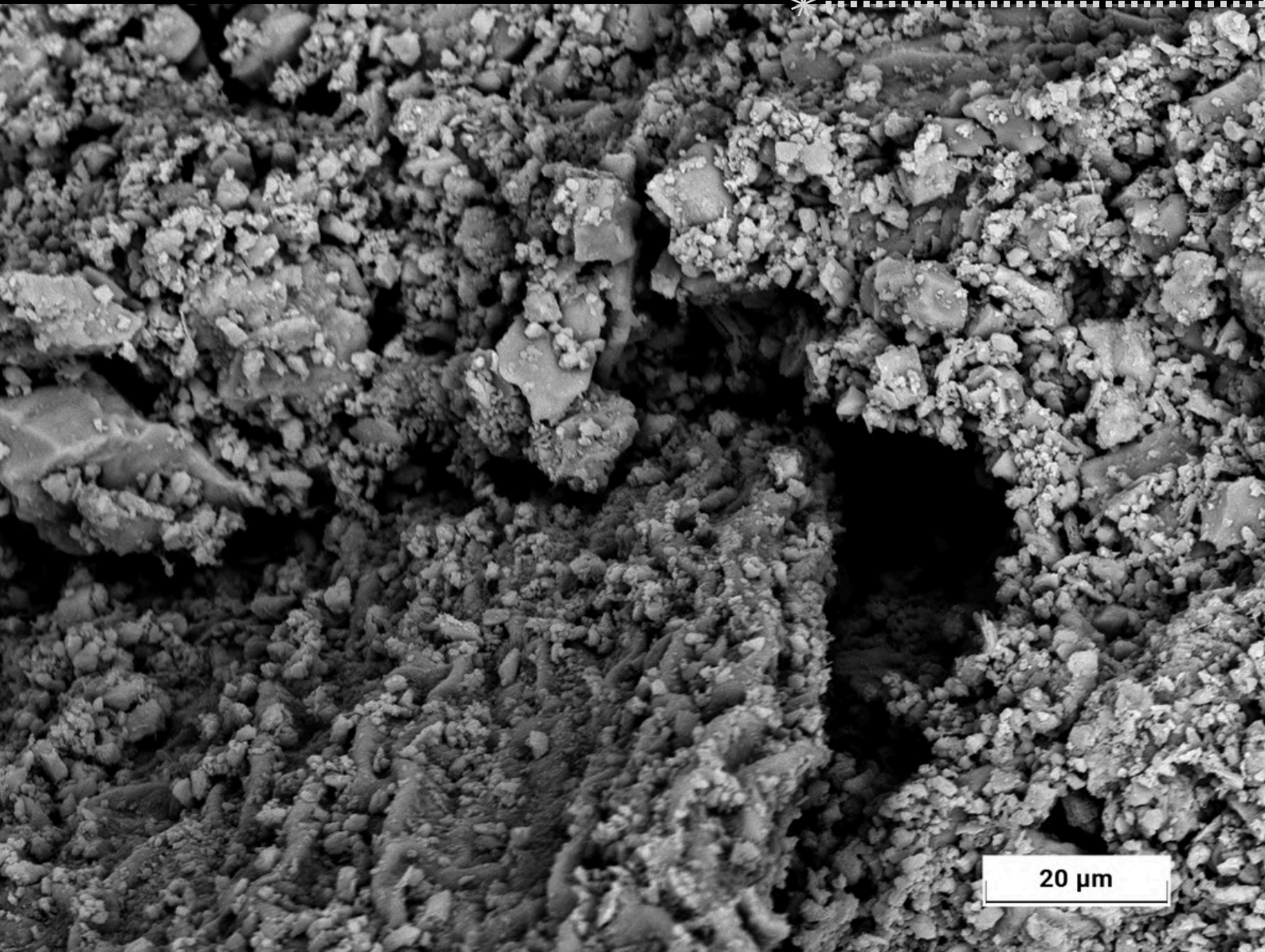


Fig 172. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + cemento bajo SE con un aumento del 2000.

Experimentación



PROBETA 01.02.03

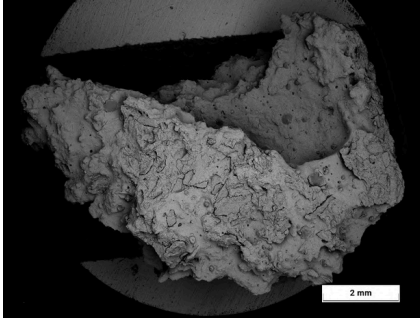


Fig 174. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + arcilla bajo BSE con un aumento del 20.

1. Imagen por electrones retrodispersados BSE del biocomposite con Yeso y Alga en fibra

Observando las imágenes realizadas a través del microscopio electrónico se puede apreciar que la cristalización de la arcilla y el polvo de alga no se pierde completamente, existiendo una cohesión en las partes menos deterioradas por la rotura del material para la extracción de pruebas. En la imagen de 2000 aumentos se pueden observar secciones de unión entre el alga y la cerámica, concluyendo la efectividad en el uso del alga en polvo con partícula < 1 mm.

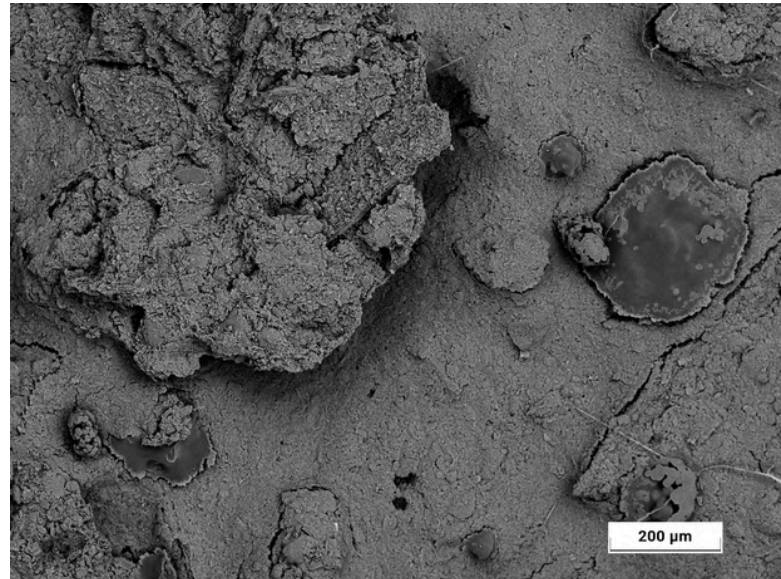
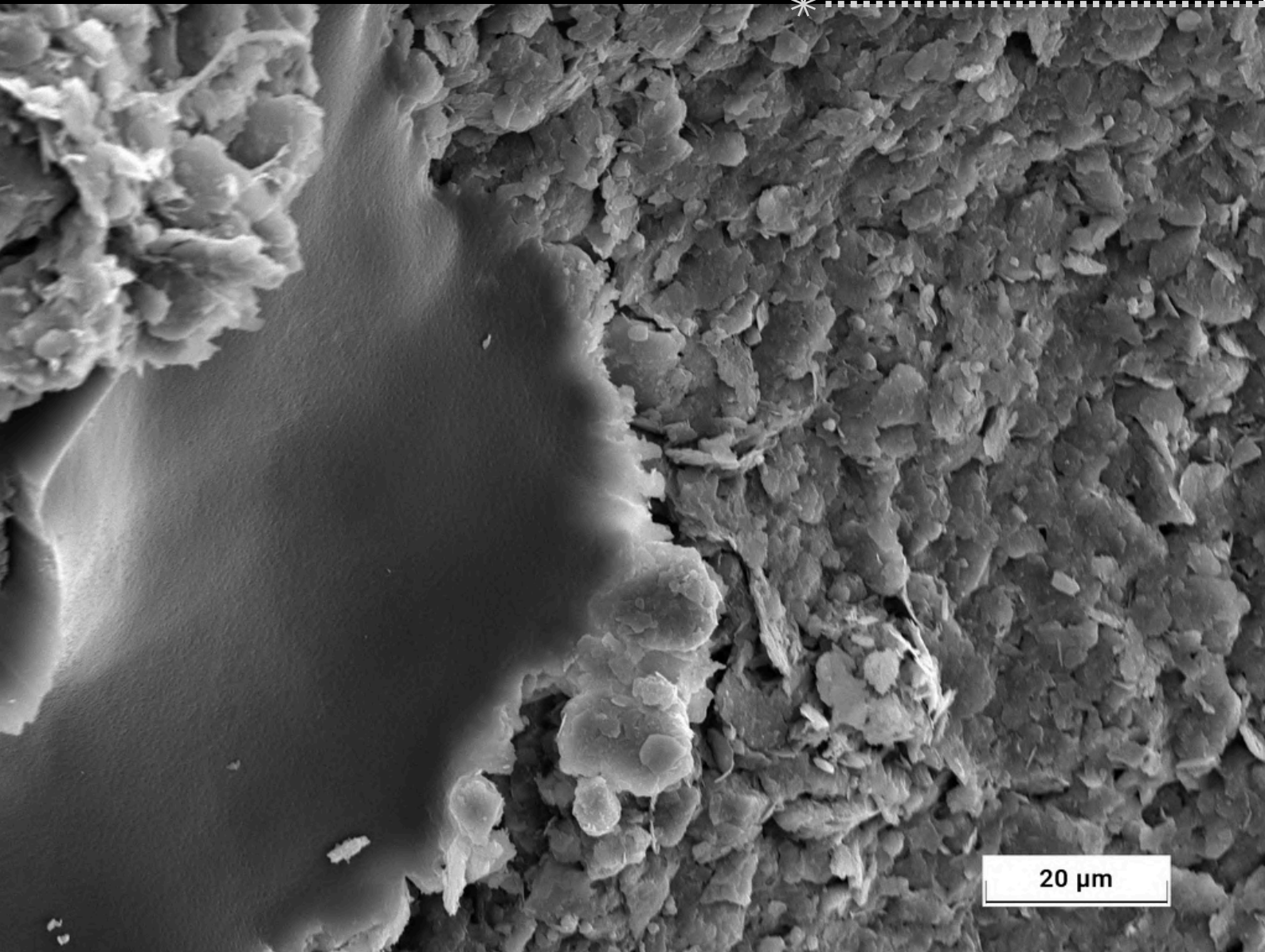


Fig 175. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + arcilla bajo BSE con un aumento del 200.

Experimentación



20 μm

Fig 176. Fuente: elaboración propia. Imagen del biocomposite alga fibra + arcilla bajo SE con un aumento del 2000.

Ensayos



ENSAYOS TÉRMICOS

Para la caracterización de las probetas, se empleó el analizador Isomet 2114 con una sonda de contacto superficial (surface probe). Este sensor permite determinar la conductividad térmica (λ) del material mediante la aplicación de un impulso térmico sobre una cara plana de la muestra.

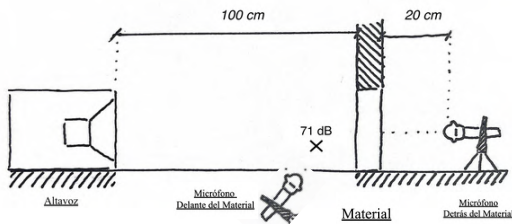
La elección de este método responde a la naturaleza compacta de los probetas finales permitiendo una medición no destructiva. Para garantizar la precisión del ensayo se aseguró un ambiente constante, un buen acople entre el sensor y el biocomposite minimizando la resistencia térmica de contacto mediante la colocación del sensor en la superficie más lisa. Este parámetro es esencial para cuantificar el aislamiento térmico del composite biogénico y comparar su eficiencia frente a materiales convencionales de construcción.



Fig 177. Fuente: elaboración propia. Fotografía aparato de medición Isomet 2114 junto a probeta 05.02.03.



Fig 178. Fuente: elaboración propia. Fotografía aparato de medición Isomet 2114.



$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{Absorción} \\ \rho = \text{Reflexión} \\ \tau = \text{Transmisión} \end{array} \right.$$

Fig 179. Fuente: elaboración propia. Fórmula del comportamiento acústico del material.



Fig 180. Fuente: elaboración propia. Fotografía de sistema fabricado para llevar a cabo los ensayos acústicos.

ENSAYOS ACÚSTICOS

El ensayo se realizó en un entorno no ideal, en una vivienda, con equipo de grabación básico y no calibrado. La función del ensayo fue comparar la transmisión y la reflexión del material en sus distintos materiales y densidades, con el fin de observar su comportamiento acústico.

El ensayo se llevó a cabo utilizando un altavoz de estudio que emitía sonido a un metro de distancia del material. Se dispusieron dos micrófonos dinámicos no ideales: uno situado detrás del material y otro delante del mismo.

Para analizar el comportamiento del material se realizaron dos pruebas a un nivel de 71 dB desde la cara frontal de recepción, equivalente a un ruido de tráfico intenso. Se utilizaron dos muestras de audio: una de ruido rosa y otra de barrido frecuencial, con el objetivo de estimar el comportamiento de los materiales en diferentes frecuencias.

Para medir el coeficiente de absorción es necesario conocer el coeficiente de transmisión y el de reflexión. Sin embargo, los resultados obtenidos para el coeficiente de reflexión por el micro delantero no fueron válidos, ya que todos resultaron prácticamente iguales. Esto se debe a que el micrófono estaba demasiado cerca de la fuente, y la medición debería haberse realizado mediante la cola de reverberación de la sala. Para ello, habría sido necesario tratar toda la sala con el material acústico y medir toda la sala para poder estimar su comportamiento acústico.

Ensayos



CONCLUSIONES TÉRMICAS

La lectura de datos de la tabla proporcionada refleja un claro decrecimiento de conductividad térmica a medida que se le va añadiendo alga a las mezclas, con un tope mínimo de conductividad en el bloque compacto de alga pura ($0.02.03$) que presenta los siguientes datos:

- $\lambda = 0.0633 \text{ W / (m} \cdot \text{k)}$
- $R = 0.474 \text{ m}^2 \cdot \text{k / W}$
- $C_p = 0.2035 \cdot 10^6 \text{ J / m}^3\text{K}$
- $\alpha = 0.3109 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$
- $\lambda = 0.037 \text{ W / (m} \cdot \text{k)}$
- $R = 0.810 \text{ m}^2 \cdot \text{k / W}$
- $C_p = 0.035 \cdot 10^6 \text{ J / m}^3\text{K}$
- $\alpha = 0.8333 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$

A la derecha se colocan los valores extraídos de la tabla del material Poliestireno expandido (EPS). Se escoge este material ya que es el material con menor conductividad térmica, lo que lo hace perfecto para realizar la comparativa con el panel de alga.

1. Conductividad térmica: Aquí el EPS es superior. Al ser casi todo aire, transmite menos calor por conducción. Tu material de alga requiere un poco más de espesor (un panel de 6 cm de alga aislaría lo mismo que uno de 4 cm de EPS). Sin embargo, estar en el rango de $0,06$ es un éxito para un material natural sin procesos químicos industriales.
2. Resistencia: El EPS ofrece más resistencia al paso del calor por cada centímetro de grosor. Es el dato que se usa para cumplir la normativa (CTE).
3. Capacidad calorífica: El panel de alga compacta tiene casi 6 veces más capacidad de almacenar calor que el EPS
4. Difusividad: La difusividad mide la velocidad de propagación. Como el valor del alga es mucho más bajo, el calor viaja por ella con extrema lentitud, con lo que el panel de alga retiene mucho más la temperatura.

Nota: El volumen de la probeta es de 25 x 25 x 4 cm y el peso de 250 g, con lo que tiene una densidad de 100 kg / m . El presado del material no fue óptimo con lo que los valores recogidos no son máximos, pero son los que se tienen en cuenta para sacar conclusiones en este trabajo.

Ensayos



ID Muestra	Ligante / Matriz	Alga (g)	% Alga	Estado Alga	Espesor (m)	Cond. Térmica (λ) W / (m · K)	Resistencia (R) m ² · K / W	C _p (106J/m3K)	a (10-6m2/s)
01.00.00	Yeso (Control)	0	0%	-	0.03	0.1514	0.198	0.8120	0.1864
01.01.01	Yeso	60	3.75%	Polvo <2mm	0.03	0.1510	0.199	0.7950	0.1899
01.01.02	Yeso	165	10.31%	Polvo <2mm	0.03	0.1513	0.198	0.7600	0.1991
01.01.03	Yeso	160	10.00%	Polvo <1mm	0.03	0.1478	0.203	0.7550	0.1958
01.01.04	Yeso	260	16.25%	Polvo <1mm	0.03	0.1468	0.204	0.7250	0.2024
01.02.01	Yeso	100	6.25%	Fibra	0.03	0.1498	0.200	0.7800	0.1920
01.02.02	Yeso	160	10.00%	Fibra	0.03	0.1489	0.201	0.7500	0.1985
01.02.03	Yeso	260	16.25%	Fibra	0.03	0.1479	0.203	0.7300	0.2026
03.00.00	Arcilla (Control)	0	0%	-	0.03	0.1522	0.197	11.500	0.1323
03.01.01	Arcilla	160	10.00%	Polvo	0.03	0.1454	0.206	10.500	0.1385
03.01.02	Arcilla	260	16.25%	Polvo	0.03	0.1445	0.208	10.200	0.1429
03.02.01	Arcilla	160	10.00%	Fibra	0.03	0.1458	0.206	0.9800	0.1474
05.02.01	Alga Sola	60	100%	Fibra (Ligera)	0.02	0.1168	0.171	0.1820	0.6417
05.02.02	Alga Sola	-	100%	Fibra (Ligera)	0.04	0.1112	0.360	0.1850	0.6010
05.02.03	Alga Sola	-	100%	Fibra (Compacta)	0.03	0.0633	0.474	0.2035	0.3109
P. Expandido (EPS)	Panel (Corcho blanco)				0.03	0.037	0.810	0.035	0.8333
P. Extruido (XPS)	Panel rígido				0.03	0.034	0.882	0.045	0.7556
Lana de Roca	Panel semi-rígido				0.03	0.036	0.833	0.084	0.4286
Lana de Vidrio	Panel semi-rígido				0.03	0.035	0.857	0.048	0.7292
Corcho Natural	Panel aglomerado				0.03	0.040	0.750	0.080	0.5000
Celulosa	Insuflada / Papel recic.				0.03	0.039	0.769	0.095	0.4105
Zostera Marina	Fibra suelta limpia				0.03	0.045	0.667	0.110	0.4091
Pasto Marino (Læsa)	Manojo compactado				0.03	0.050	0.600	0.130	0.3846

Tabla 12. Fuente: elaboración propia. Información de probetas con Conductividad y Resistencia térmica obtenidos con el Isomet 2114..

Ensayos



ENSAYO CON BARRIDO LOGARÍTMICO

Mediante un barrido logarítmico de todas las frecuencias audibles para el ser humano (20 Hz a 20 kHz), se obtiene la siguiente gráfica que muestra la respuesta del material. Como se puede observar, el comportamiento en frecuencias graves es muy parecido para todos los materiales (inferiores a 500 Hz), lo que indica que estas no pueden ser atenuadas por el material.

A continuación, se comparan los materiales de alga con el pladur y el poliestireno en función de su densidad. Resulta especialmente interesante observar que las nueve densidades probadas presentan un comportamiento muy semejante, con poca variación. Esto indica que, en términos acústicos, la rugosidad y la forma del material tienen mayor relevancia que la densidad o el uso de distintos materiales.

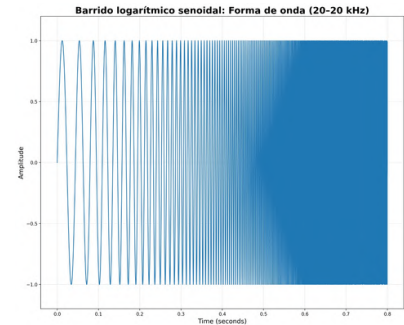


Fig 181. Fuente: elaboración propia. Información de probetas con Conductividad y Resistencia térmica obtenidos con el Isomet 2114.

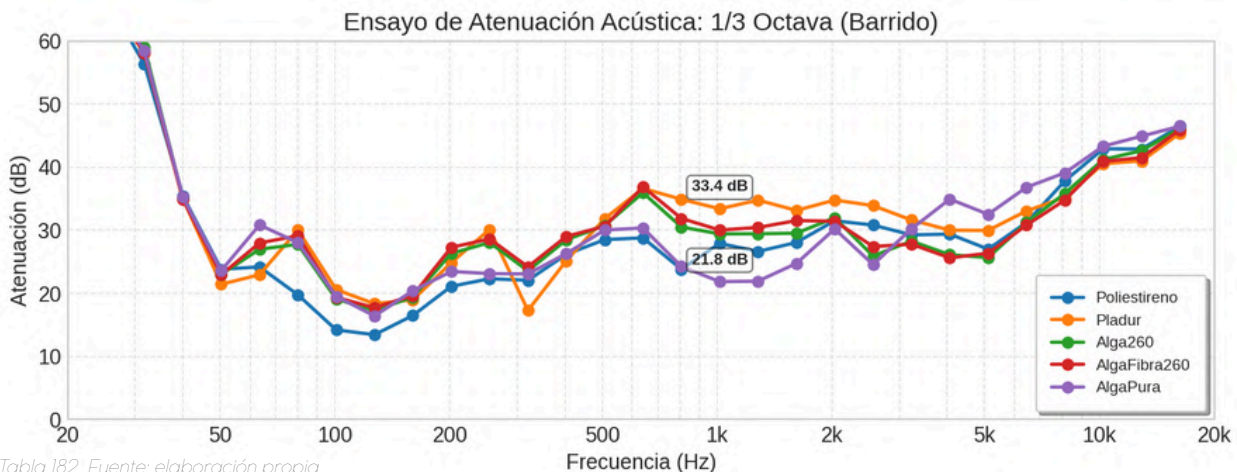


Tabla 182. Fuente: elaboración propia. Información de probetas con Conductividad y Resistencia térmica obtenidos con el Isomet 2114.



ENSAYO CON RUIDO ROSA

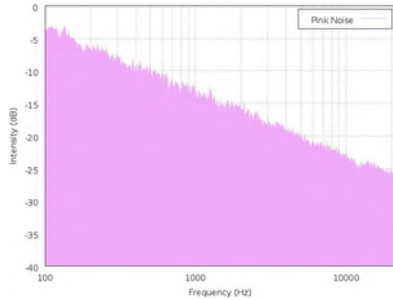


Fig 183. Fuente: elaboración propia. Información de probetas con Conductividad y Resistencia térmica obtenidas con el Isomet 2114..

Como conclusión, debido a que no se pudieron obtener resultados fiables a partir del micrófono frontal, se observa que la atenuación incrementa directamente proporcional conforme a la densidad del material (siendo el pladur el más denso y menos poroso). De este modo, el pladur es el material que menos transmite y mayor aislamiento acústico proporciona.

No obstante, de acuerdo con la fórmula [fig 179], se puede deducir que, en general, a una menor transmisión le corresponde una mayor reflexión. En este contexto, se observa que materiales como el poliestireno y el panel de alga compactada presentan un comportamiento acústico similar, caracterizado por una mayor transmisibilidad y, por tanto, una menor reflexión, lo que los convierte en candidatos adecuados para su uso como paneles acústicos.

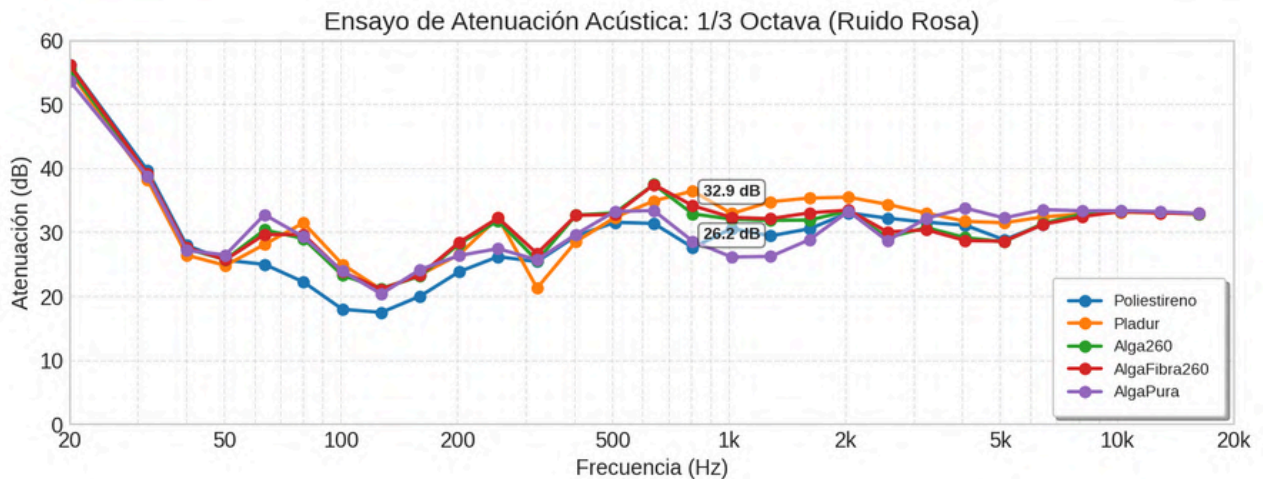


Tabla 184. Fuente: elaboración propia. Información de probetas con Conductividad y Resistencia térmica obtenidas con el Isomet 2114..

Comentarios



Durante el desarrollo de este trabajo se han conseguido múltiples conclusiones positivas del empleo de este alga como material de construcción, sin embargo, han sido innumerables los desafíos a lo largo del camino.

En primer lugar, la recolección del alga que fue un factor indispensable resultó complicada ya que la temporada de arribazones es en verano y este TFG se desarrolló durante el invierno. Contactar con medio ambiente, ayuntamientos o grupos de investigación no fue ni de lejos de ayuda alguna, dada su falta de comunicación (ninguna). Múltiples cofradías de pescadores confirmaron que en tarifa no estaban sacando algas en las redes de los barcos, y que tampoco había muchos rastros del alga por los litorales. No fue hasta viajar a Tarifa y entablar conversación con dos pescadores que no se consiguió una ubicación de arribazones.

El siguiente paso supuso un reto aún mayor. Tras conseguir grandes cantidades de alga, quedaba una tarea de vital importancia; la limpieza y deshidratación de esta. Al no poder depender de las instalaciones de la ETSAM (ya que el laboratorio se encuentra en obras) no hubo otro remedio que realizar múltiples metodologías de limpieza y secado en casa. Si ya es una tarea compleja limpiar y secar a ritmos muy lentos y caseros un alga, añadirle el olor a mar que desprende naturalmente supuso un desafío adicional que convirtió el tratamiento del material en un ejercicio de exigencia térmica y personal (para mi y para las personas que viven conmigo)

Comentarios



La etapa de fabricación de probetas supuso también un reto operativo, ya que el estudio estuvo condicionado a unas dimensiones determinadas que precisaron de grandes volúmenes de materia prima. La dimensión establecida fue de 25 x 25 cm, una escala necesaria para cumplir con los requerimientos técnicos del instrumental de medida. Para realizar los ensayos térmicos, se empleó el "Método de Placa Caliente Protegida", cuya configuración mecánica exige probetas de dichas dimensiones para garantizar un flujo térmico unidimensional y obtener así valores precisos de conductividad térmica, finalmente la máquina encargada de realizar dichos ensayos no estuvo a disposición en las fechas previstas, obligando a realizar otros métodos de ensayo diferentes.

Pese a la cantidad de obstáculos y el olor a alga constante en casa, el desarrollo de este trabajo fue muy gratificante y, lejos de considerar esta investigación como un mero trámite olvidando la propuesta, la intención es dar continuidad al desarrollo de esta propuesta hasta alcanzar resultados competentes en el mercado. El objetivo a medio plazo es profundizar en el estudio del material, explorando posibilidades de realizar patentes además de desarrollar nuevas etapas de investigación avanzada que superen el alcance de este Trabajo de Fin de Grado, consolidando así una solución real para el sector de la construcción.

Conclusiones



El mundo de la construcción ha establecido unos estándares de consumo que requieren de una mirada hacia el pasado: el uso de materiales de origen biológico. El estigma de la degradación, el mal funcionamiento o falta de estabilidad estructural de los biocomposites o materiales naturales pone muchas trabas a la hora de emplear estos materiales en construcción real.

Rugulopteryx Okamurae abre las puertas a infinidad de soluciones constructivas que, lejos de ser un simple residuo biomásico, se coloca como material potencialmente aislante con una gran capacidad de absorción, además de tener un alto contenido en alginato que, vista la gran cantidad de estudios sobre este compuesto, es de gran utilidad para la extracción de biopolímeros más degradables que los plásticos empleados hoy día.

Las aplicaciones actuales de algas en el mundo de la construcción van evolucionando día tras día, generándose múltiples soluciones de gran variedad y complejidad, desde la recolección, secado y utilización directa del alga, hasta materiales termoplásticos imprimibles en 3D. Es por ello que la propuesta del empleo del alga *Rugulopteryx Okamurae* como material de construcción no está tan lejos de tomar forma en un futuro cercano, suceso que desemboca en el decremento de la extracción, fabricación y transporte de materiales con una huella de carbono muchísimo mayor.

Conclusiones



Como se ha demostrado en este trabajo, el principal potencial de este alga es emplear sus restos deshidratados, como material aislante en soluciones constructivas que lo soporten, que con una compactación y un espesor determinado puede jugar el mismo papel que materiales aislantes tales como el poliestireno espumado o expandido, la lana de roca, la espuma de poliuretano y una larga lista de materiales poliméricos.

Desarrollar materiales con bases algales augura un futuro cada vez más tangible. La integración de este producto en el mercado de los materiales de construcción supone un gran paso para la descarbonización de nuestros ecosistemas que, llevado a una gran escala, puede ser un agente clave para frenar el impacto del cambio climático, reducir la huella de carbono en la edificación y convertir un residuo invasor inservible a día de hoy, en un recurso estratégico para la arquitectura sostenible del siglo XXI.

Por suerte o por desgracia, el primer obstáculo que se nos presenta en este país (como suele ocurrir en numerosas propuestas de mejora) es el desajuste entre las competencias autonómicas y las normativas estatales que, lejos de ayudar y promover estas soluciones, las dificultan. No obstante, esta realidad tendrá que cambiar necesariamente si queremos avanzar hacia un sistema de gestión más eficaz que trascienda la burocracia en favor del bien común, logrando así un país mejor organizado y comprometido con el pueblo,

Futuras líneas de investigación



Los objetivos marcados en el comienzo de este trabajo no han conseguido ser abordados en su totalidad debido a la falta de mayor cantidad de información recopilada por la limitación de ensayos, medios y tiempo; pero, pese a estos inconvenientes, se ha demostrado el gran potencial que posee el residuo biomásico del alga invasora *Rugulopteryx okamurae*.

Los resultados obtenidos en esta primera fase de estudio establecen una base sólida que permite vislumbrar diversas líneas de investigación para el futuro. A continuación, se proponen las vías más prometedoras para profundizar en el desarrollo de estos biomateriales:

- Proseguir los ensayos con las probetas realizadas en el trabajo, optimizando las propiedades del material y consiguiendo así una mayor representatividad estadística en los resultados..
- Desarrollo de un detalle constructivo que incorpore el alga *Rugulopteryx Okamurae* a modo de material de aislamiento térmico, sustituyendo así materiales más nocivos para el medio ambiente.
- Desarrollo de un aislante del Alga *Rugulopteryx Okamurae* con aglomerantes que consigan volverlo una masa totalmente manejable.
- Desarrollo de un bloque de adobe mezclado con el alga *Rugulopteryx Okamurae*.

- Biocemento con *Rugulopteryx Okamurae* como añadido para potenciar características térmicas y acústicas, además de aligerar este material.
- Fabricación de mampostería a partir de una síntesis con el material algal que tenga unas prestaciones muy similares a las de los bloques de mampostería de cemento.
- Panel estilo “pladur” a base del alga *Rugulopteryx*: Al igual que el sargapanel, desarrollar una pulpa a base del alga así como un yeso dosificado con el alga en polvo para realizar así un panel totalmente manejable para realizar tabiquerías.
- Extracción de biopolímeros: Dada la alta concentración de alginato en esta especie la extracción y síntesis de un bioplástico resulta viable.
- Desarrollo de un bioplástico procesable por impresión 3D: Siguiendo la línea de proyectos como las sillas Kelp o la Egg Chair se propone el desarrollo de un bioplástico apto para impresión 3D lo que permitiría la creación de geometrías complejas aprovechando el residuo de *Rugulopteryx okamurae*.

Bibliografía



Agua de lastre: Definición y legislación vigente. (2025, mayo 11). <https://sym-naval.com/es/blog/agua-de-lastre-definicion-y-legislacion/>

Casal-Porras, I., Zubía, E., & Brun, F. G. (2021). Dilkamural: A novel chemical weapon involved in the invasive capacity of the alga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 257, 107398. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107398>

Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 17 de noviembre de 2025, de <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce-eei-catalogo.html>

Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016 Adopting a List of Invasive Alien Species of Union Concern Pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council (2025). http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2016/1141/2025-08-07

Bibliografía



Dawson, E. Y., Hwang, I. K., Lee, W. J., & Kim, H. S. (s. f.). CATÁLOGO ESPAÑOL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS.

DOTUNUSUAL - Designers of the Unusual— Klarenbeek & Dros. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://www.dotunusual.com/>

Dutch Designers 3D Print the Future from Algae —3DPrint.com | Additive Manufacturing Business. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://3dprint.com/196154/dutch-designers-3d-print-algae/>

ecodive_1. (2025, junio 1). Rugulopteryx okamurae: ECODIVE. Eco&Dive | Escuela de Buceo | Málaga. <https://ecodive.es/rugulopteryx-okamurae-ecodive/>

El señor Sargazo, la historia de Omar Vázquez, el jardinero que comprobó que los sueños no caducan. (2025, abril 7). <https://newsdaycaribe.com/comunidad/senor-sargazo-sargablock/>

Englefield, J. (2022, mayo 5). Wevolve Labs designs luminous sculptures crafted from biomaterials. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/05/05/wevolve-labs-site-specific-sculptures-biomaterials/>

Bibliografía



España frena el innovador proyecto de Mango con las plantillas de zapatos con alga invasora. (2025, mayo 22). ElHuffPost. <https://www.huffingtonpost.es/economia/espana-frena-innovador-proyecto-mango-plantillas-zapatos-alga-invasora.html>

Especies exóticas preocupantes para la Unión Europea. (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 17 de noviembre de 2025, de <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce-eei-lista-ue-listado.html>

*Estrategia de gestión, control y posible erradicación del alga asiática (*Rugulopteryx okamurae*). (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 6 de noviembre de 2025, de https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/pbl_fauna_flora_estrategia_r_okamurae.html*

Fuente, J. (s. f.). La UE publica su lista de especies exóticas invasoras. Recuperado 10 de noviembre de 2025, de <https://especiespro.es/actualidad/ue-lista-especies-exoticas-invasoras/>

Bibliografía



Dawson, E. Y., Hwang, I. K., Lee, W. J., & Kim, H. S. (s. f.). CATÁLOGO ESPAÑOL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS.

DOTUNUSUAL - Designers of the Unusual— Klarenbeek & Dros. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://www.dotunusual.com/>

Dutch Designers 3D Print the Future from Algae —3DPrint.com | Additive Manufacturing Business. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://3dprint.com/196154/dutch-designers-3d-print-algae/>

ecodive_1. (2025, junio 1). *Rugulopteryx okamurae*: ECODIVE. Eco&Dive | Escuela de Buceo | Málaga. <https://ecodive.es/rugulopteryx-okamurae-ecodive/>

El señor Sargazo, la historia de Omar Vázquez, el jardinero que comprobó que los sueños no caducan. (2025, abril 7). <https://newsdaycaribe.com/comunidad/senor-sargazo-sargablock/>

Englefield, J. (2022, mayo 5). Wevolve Labs designs luminous sculptures crafted from biomaterials. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/05/05/wevolve-labs-site-specific-sculptures-biomaterials/>

Bibliografía



González, A. (2025, mayo 19). Adiós a «SeaSoft», el proyecto tarifeño para crear plantillas con el alga invasora tras prohibir su recolección con fin comercial—Diario Área Campo de Gibraltar.

<https://www.diarioarea.com/campo-de-gibraltar/seasoft-proyecto-plantillas-prohibicion-comercializacion-alga-invasora/>

Henares, J. D. L. R. E. I. (2024, junio 14). Algas «invasoras». Granada Hoy.

<https://www.granadahoy.com/granada/Algas-invasoras-Mar-biodiversidad-1911411008.html>

Hwang, I. K., & Lee, W. J. (2018). RUGULOPTERYX OKAMURAE (E.Y.

Las casas de algas de Læsø, Dinamarca. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <http://naturalhomes.org/es/homes/seaweed-house.htm>

LER – Listado Europeo de Residuos (oficial) | Asegre. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2025, de <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>

Bibliografía



Dawson, E. Y., Hwang, I. K., Lee, W. J., & Kim, H. S. (s. f.). CATÁLOGO ESPAÑOL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS.

DOTUNUSUAL - Designers of the Unusual— Klarenbeek & Dros. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://www.dotunusual.com/>

Dutch Designers 3D Print the Future from Algae —3DPrint.com | Additive Manufacturing Business. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://3dprint.com/196154/dutch-designers-3d-print-algae/>

ecodive_1. (2025, junio 1). Rugulopteryx okamurae: ECODIVE. Eco&Dive | Escuela de Buceo | Málaga. <https://ecodive.es/rugulopteryx-okamurae-ecodive/>

El señor Sargazo, la historia de Omar Vázquez, el jardinero que comprobó que los sueños no caducan. (2025, abril 7). <https://newsdaycaribe.com/comunidad/senor-sargazo-sargablock/>

Englefield, J. (2022, mayo 5). Wevolve Labs designs luminous sculptures crafted from biomaterials. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/05/05/wevolve-labs-site-specific-sculptures-biomaterials/>

Bibliografía



González, A. (2025, mayo 19). Adiós a «SeaSoft», el proyecto tarifeño para crear plantillas con el alga invasora tras prohibir su recolección con fin comercial—Diario Área Campo de Gibraltar. <https://www.diarioarea.com/campo-de-gibraltar/seasoft-proyecto-plantillas-prohibicion-comercializacion-alga-invasora/>

Henares, J. D. L. R. E. I. (2024, junio 14). Algas «invasoras». Granada Hoy. <https://www.gradahoy.com/granada/Algas-invasoras-Mar-biodiversidad-1911411008.html>

Hwang, I. K., & Lee, W. J. (2018). RUGULOPTERYX OKAMURAE (E.Y.

Las casas de algas de Læsø, Dinamarca. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <http://naturalhomes.org/es/homes/seaweed-house.htm>

LER – Listado Europeo de Residuos (oficial) | Asegre. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2025, de <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>

Mogollón, S. L., Zilio, M. I., Buitrago, E. M., Caraballo, M. Á., & Yñiguez, R. (2024). *Economic impact of Rugulopteryx okamurae (Dictyotales, Ochrophyta) along the Andalusian coastline: The case of Tarifa, Spain. Wetlands Ecology and Management, 32(1), 19-32.* <https://doi.org/10.1007/s11273-023-09951-2>

Proyecto con algas invasoras Rugulopter

Bibliografía



yx okamurae en Tarifa. (2024, agosto 29). EcoAvant.com.

<https://www.ecoavant.com/actualidad/proyecto-con-algas-invasoras-tarifa-prueba-recuperacion-alcornocales-seca-13938-102.html>

Seaweed bungalows: Unique ecological houses on Jiaodong peninsula. (s. f.). Recuperado 14 de noviembre de 2025, de <https://www.chinadaily.com.cn/a/202007/29/W55f4868e2a310675eafc56160.html>

Seaweed House: As casas de algas da Ilha de Læsø. (2023, diciembre 1). <https://www.magnusmundi.com/seaweed-house-as-casas-de-algas-da-ilha-de-laeso/>

[Viva, A. \(s. f.\). 14 viviendas en Formentera—Carles Oliver Barceló Antonio Martín Procopio Joaquín Moyá Costa Alfonso Reina Ferragut. Arquitectura Viva. Recuperado 12 de noviembre de 2025, de https://arquitecturaviva.com/obras/14-viviendas-en-formentera](#)

[\[스페인\] 아시아 태평양에서 넘어온 해초 더미, 스페인 최남단 타리파를 뒤덮다: 기후변화 다양한 이야기. \(2023, junio 8\). https://climatuscollege.org/clog/?bmode=view&idx=15377654](https://climatuscollege.org/clog/?bmode=view&idx=15377654)

