

MATERIAL CERÁMICO CORALINO, SENSOR Y MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE DICHO MATERIAL

CAMPO TECNICO

[001] La presente tecnología se encuentra enmarcada en el campo de la ingeniería de materiales con aplicación en biología y microbiología marina, con énfasis en el secuestro de carbono por la promoción del crecimiento y fijación de material biológico, y énfasis en el sensado de bioerosión oceánica. En particular, la invención proporciona un material que presenta características físicas y químicas representativas de un coral pétreo, así como un método para la obtención de dicho material. En una presentación, el material puede estar conformado en un dispositivo que presenta una alternativa para reducir el impacto de gases de efecto invernadero en la atmosfera, el cual es distribuido en el suelo marino, permitiendo el crecimiento de consorcios biológicos de algas y la colonización de microorganismos bioerosionadores que intensifican la captura de carbono. De esta manera, se favorece la generación y mantenimiento de depósitos de carbono azul. En otra presentación, el material puede estar conformado en un dispositivo sensor de erosión oceánico donde, a través de métodos de muestreo estandarizados, facilita la medición de bioerosión oceánica a gran escala, de forma comparable y de bajo costo.

ESTADO DE LA TECNICA

[002] El aseguramiento a largo plazo del manejo sostenible de los ecosistemas marinos y los servicios ecosistémicos afianzando la rentabilidad económica de la actividad oceánica, se ha convertido en un objetivo primordial en la época actual, principalmente por la necesidad de fortalecer el potencial de explotación del recurso a largo plazo, aumentando el conocimiento sobre el mismo, estableciendo una metodología que permita analizar la salud de los arrecifes, y de escalabilidad global, sin afectar la integridad de dicho ecosistema.

[003] La generación y potenciación de recursos económicos relacionados con la actividad oceánica cuyos beneficiarios son el gobierno, investigadores de ciencias marinas, consultoras en temas marinos y entidades científicas, buscan obtener nuevos ingresos económicos asociados a la venta de bonos de carbono, aumentar la rentabilidad de consultorías debido a mejoras en la efectividad de las mismas, disminuir los costos operativos, de diseño y reducción en las fallas de funcionamiento asociados a *fouling*, asegurar una mejor rentabilidad económica de la actividad oceánica y aumentar el conocimiento sobre los océanos.

[004] Existen riesgos de seguridad asociados a los cambios climáticos en donde se hace necesaria la toma de decisiones de cara a una posible afectación de la sociedad y el ecosistema, por lo que se requiere reducir el tiempo de generación de normativas para los océanos, contribuir con nueva información para modelos globales de la acidificación oceánica y tomar medidas que protejan el potencial de captura de CO₂ de los océanos.

[005] En este sentido, la generación productos y métodos para medir la bioerosión en fuentes oceánicas se hace vital. Es deseable que estos productos tengan escalabilidad, sean de bajo costo y sean comparables entre sitios con el fin de traducir información científica la cual es limitada para diversos sectores tales como el sector de políticas públicas, mercado de bonos de carbono, mercado de Kyoto, mercados voluntarios, entre otros. Por lo tanto, se requiere establecer tecnologías orientadas a asegurar el potencial de explotación de recursos de forma duradera, consolidando los servicios ecosistémicos a largo plazo, asegurando una mejor rentabilidad económica de la actividad oceánica mediante el aumentar del conocimiento sobre los océanos.

[006] En particular, en el marco de los materiales artificiales para la medición de bioerosión oceánica, se requieren materiales biocompatibles que permitan la colonización de microorganismos bioerosionadores, determinado parámetros no destructivos de medición de densidad y porosidad, para así diseñar un material cerámico con parámetros físicos similares a las de un coral.

[007] Los principales retos para el diseño de un material cerámico se relacionan con encontrar un rango de temperatura que faculte la formación de porosidad y sinterice la matriz de carbonatos y también con las relaciones de concentración de materiales que aseguren que no se presenten variaciones en la composición química que impidan la colonización del material.

[008] Adicionalmente, considerando que no hay consenso por parte de la comunidad científica para medir bioerosión, de cara a una tendencia de ciencia abierta y participativa en cambio climático a nivel global, es necesario encontrar una metodología que permita analizar salud de los arrecifes y de escalabilidad global, sin afectar la integridad del arrecife. Se han desarrollado diversas aproximaciones a esta problemática. Por ejemplo, en el ámbito de las patentes, se conoce el documento CN104484710, el cual reporta un método para predecir la erosión de la superficie marina provocada por la acción de las olas en un acantilado. Esta divulgación se orienta principalmente al tipo de condición integral del oleaje y condición del suelo, y la metodología de pronóstico de la cantidad de erosión pura de la escarpa marina blanda que causa la acción del oleaje del proceso de erosión por reflexión. Así, este documento se ocupa de algunos aspectos determinantes

para la predicción de la erosión, mas no proporciona materiales o sensores que permitan medirla con certeza.

[009] Por su parte, el documento CN106404647 hace referencia a un método y un dispositivo para medir la resistencia a la erosión del agua de mar de un material a base de cemento, que se basa en el paso de dicho material por cuerpos de agua dulce y salada a condiciones particulares. Sin embargo, este documento no contempla la obtención de un material en particular ni tampoco explora los efectos que podría tener dicho material en el ambiente marino.

[010] De manera similar, el documento CN111461046 divulga un método y dispositivo de identificación automática para la erosión y sedimentación costeras basado en datos de la costa, extrayendo automáticamente áreas de erosión y sedimentación, reduciendo los errores en la toma de muestras y por la interpretación humana, mejorando la velocidad de detección, de tal manera que se obtiene de forma rápida y precisa los cambios dinámicos de la información de la zona intermareal costera. Este documento muestra desarrollo en tecnologías asociadas a la medición de erosión sin detallar información que se puede encontrar en el suelo marino contribuyendo a la restauración de depósitos de carbono azul.

[011] Así mismo, la divulgación CN202886245 se refiere a un dispositivo de prueba electroquímica de erosión de campo en aguas profundas que comprende una cabina electrónica hermética a prueba de presión, un sistema de prueba electroquímica de erosión ubicado dentro de la cabina electrónica hermética a prueba de presión, un sistema de electrodos de tipo enchufable integrado a de un extremo de la cabina hermética y una cubierta protectora porosa. Sin embargo, el documento no hace alusión a los materiales que conforman el dispositivo ni tampoco se refiere a las ventajas que se podrían obtener con este valor agregado.

[012] De otro lado, se conocen aproximaciones a materiales porosos similares a los corales con aplicaciones médicas. Por ejemplo, la publicación WO 00/20353 hace referencia a un método para la producción de una espuma cerámica macroporosa, que comprende: (a) formar una barbotina cerámica que comprende una mezcla sustancialmente homogénea de un particulado cerámico, un aglutinante orgánico en un vehículo líquido y opcionalmente uno o más tensioactivos; (b) espumación de la barbotina de cerámica; y (c) calentar la barbotina de cerámica espumada a una temperatura suficiente para quemar sustancialmente el aglutinante orgánico. La espuma cerámica macroporosa es adecuada para su uso en aplicaciones biomédicas como huesos sintéticos, andamios de ingeniería de tejidos o dispositivos de administración de fármacos.

[013] Así, si bien se conocen dispositivos y/o métodos para la determinación de erosión a fin de combatir los riesgos asociados al cambio climático, dichos sistemas y métodos poseen limitaciones importantes.

[014] De acuerdo con lo anterior, se ha identificado una necesidad de proporcionar tecnologías que permitan replicar de manera controlada el comportamiento de los corales para identificar acidificación oceánica y promoción de generación y acumulación de material biológico como depósitos de carbono azul.

[015] En este sentido, es un objetivo de la presente invención es proporcionar un material que cuenta con propiedades físicas, químicas y biológicas similares a las de un coral pétreo, por lo que presenta erosión y acumulación de material biológico igual que lo haría un coral pétreo. Por lo anterior, al estar conformado en un dispositivo implantable en el suelo marino, permite generar una plataforma que contribuya al atrapamiento y fijación de carbono azul. Del mismo modo, al presentar una erosión similar a la de un coral, provee una plataforma estandarizada para medición de acidificación oceánica.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[016] Otras características y las ventajas de esta invención se volverán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de una modalidad no limitante, preferida del material cerámico microestructurado (100) con características físicas similares a la microestructura del esqueleto de un coral pétreo, del método de obtención de un material cerámico microestructurado (200), y del dispositivo (300) para ser ubicado en cuerpos de agua, incluyendo suelos y columna de agua. Se hará referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

[017] La Figura 1 corresponde a una vista lateral del material cerámico microestructurado (100) en donde se puede evidenciar un cambio de porosidad tras ser expuesto en el medio acuático. El tamaño de los poros se incrementa por la presencia y colonización de: algas, procariotas y hongos.

[018] La Figura 2 corresponde a una fotografía del dispositivo (300) fabricado con el material cerámico microestructurado (100).

[019] La Figura 3 corresponde a una imagen que representa la porosidad del material (100) y microestructura evidenciada por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM). Dimensión de barra de referencia en la figura 3a) 10 μm , en la figura 3b) 20 μm , en la figura 3c) 200 μm y en la figura 3d) 2000 μm .

[020] La Figura 4 corresponde a la visualización de la composición de la microestructura mediante fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDS). Donde en la figura 4a) se evidencia un EDS de probeta derivada de coral artificial y en la figura 4b) se evidencia un EDS de probeta derivada de coral artificial pulida.

[021] La Figura 5 corresponde a una fotografía de múltiples dispositivos (300) luego del proceso de fabricación.

[022] La Figura 6 corresponde a una representación gráfica de una disposición espacial de un conjunto de dispositivos (300). En la figura 6a) se muestra la disposición en un espacio llano del suelo marino, y en la figura 6b) una disposición a lo largo de una superficie con topografías variables en el suelo marino.

[023] La Figura 7 corresponde al dispositivo (300). Donde la figura 7a) muestra el dispositivo sujeto a una superficie rocosa y la figura 7b) muestra un dispositivo colectado tras la exposición al medio acuático, donde puede apreciarse la colonización por diferentes organismos (algas, bacterias y hongos).

[024] La Figura 8 corresponde a la descripción general de las fases que comprende el método de obtención por medio de la técnica de sinterización que permite generar un material con características físicas similares a la microestructura del esqueleto de un coral pétreo.

[025] La Figura 9 corresponde al paso a paso de la fase de alistamiento de la materia prima (210).

[026] La Figura 10 corresponde al paso a paso la fase de homogenización (220).

[027] La Figura 11 corresponde al paso a paso la fase de obtención del material (230).

[028] La Figura 12 corresponde a la rampa de temperatura preferida para la sinterización del material cerámico microestructurado (100).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[029] La presente invención hace referencia a un material cerámico microestructurado (100) homogéneo que permite replicar la microestructura del esqueleto de un coral pétreo, así como su comportamiento físico, químico y biológico, con lo cual es posible obtener una estructura escalable para medición estandarizada de parámetros del suelo marino en donde dicho material fomenta el crecimiento de material biológico en dicho suelo. Asimismo, se describe un método (200) de obtención del material (100), por medio de la técnica de sinterización. Del mismo modo se describe un dispositivo (300) compuesto, dentro de otros elementos, por dicho cerámico microestructurado (100), dicho dispositivo (300) puede ser ubicado en cuerpos de agua, incluyendo suelos y columna de agua humedales.

[030] En cuanto al material cerámico microestructurado (100) homogéneo, es un material compuesto por calcita (110) y un aglutinante (120), y presenta características de resistencia a la compresión, densidad aparente y porosidad conectada representativas de un coral pétreo. Para obtener este material, se hace necesario encontrar un aglutinante compatible con un ambiente microbiano que permita asegurar la afinidad del material con los microorganismos bioerosionadores. Asimismo, es necesario encontrar un agente generador de porosidad y un protocolo de sinterización que permitan evaporar el agente para generar las propiedades físico-químicas deseadas.

[031] Por su parte, en el método (200) de obtención un cerámico microestructurado (100), se requiere llevar a cabo el proceso de alistamiento de la materia prima, homogenización y obtención del material. De manera particular, se requiere encontrar un aglutinante compatible con un ambiente microbiano que permita asegurar la afinidad del material con los microorganismos bioerosionadores. De manera similar, se requiere definir características metodológicas y rangos de temperaturas que consoliden una adecuada sinterización del material, para obtener las propiedades físico-químicas de un coral pétreo en el material.

[032] Con respecto al dispositivo (300), el cual está conformado a partir del material cerámico microestructurado (100), este puede estar conformado en formas geométricas regulares o irregulares. El dispositivo (300) puede ubicarse en cuerpos de agua, tales como el suelo marino.

[033] En una aplicación, el dispositivo (300), al presentar erosión de una manera similar a la de un coral pétreo, puede ser utilizado para aplicaciones de sensado de condiciones ambientales tales como la acidificación oceánica. En una aproximación, el dispositivo (300) puede retirarse del suelo marino y analizar variables de erosión

y bioerosión en laboratorio. En otras presentaciones, el sensor podría emitir datos *in-situ* en tiempo real. Al tomar la información del dispositivo (300), se reduce el uso de corales para investigaciones de bioerosión oceánica, y se posibilita la generación de métodos de muestreo estandarizados que facilitan la medición de bioerosión oceánica a gran escala, de forma comparable y de bajo costo. Entre otros beneficios de la tecnología, se encuentra la generación de indicadores de diversidad marina y de salud oceánica, y la posibilidad de consolidar de una red de monitoreo global de datos de bioerosión a una escala comparable entre sitios (resolución espacial) con la capacidad de asociar sistemas de lectura, almacenamiento y procesamiento de datos.

[034] En otra aplicación, el dispositivo (300) promueve el crecimiento de material biológico y lo aloja y/o mantiene en sí mismo para fijación de carbono azul. Lo anterior trae beneficios sustanciales para combatir el cambio climático, ya que los ecosistemas de carbono azul actúan a una tasa anual de dos a cuatro veces mayor que la de los bosques tropicales maduros. Este beneficio se evidencia tanto a nivel ecosistémico como a nivel financiero, ya que los mercados de carbono presentan un interés creciente en inversión en el carbono azul.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[035] En un primer aspecto, la presente invención provee un material cerámico microestructurado (100) homogéneo con características similares a la microestructura del esqueleto de un coral pétreo (100), el cual, debido a su biocompatibilidad y morfología, permite el crecimiento de material biológico, tal como la colonización de organismos bioerosionadores. Es de resaltar que es esencial del material, que sus características físicas son similares a la microestructura del esqueleto de un coral pétreo, tal como su resistencia a la compresión, densidad aparente seca, y porosidad conectada.

[036] Por lo tanto, el material cerámico microestructurado (100) las características esenciales del material son una resistencia a la compresión de entre 7 y 10 MPa, de preferencia 9,7 MPa, una densidad aparente seca entre 1,3 y 1,5 g/cm³, de preferencia de 1,4 g/cm³, una porosidad conectada de entre 43% y 51%, de preferencia 48,3%, y un diámetro promedio de poro de entre 500 y 900 µm, de preferencia 500 µm.

[037] En una modalidad de la invención, el material cerámico microestructurado (100) comprende entre 74% y 79% de caliza de polvo fino (110), de preferencia 74% y entre 21% y 26% de aglutinante (120), de preferencia 26%.

[038] En otra modalidad preferida de la invención, la caliza de polvo fino (110) se selecciona del grupo que consiste, pero no se limita a, roca carbonatada, sedimentaria de origen coralino, roca coralina, piedra caliza amarilla o combinaciones de los mismos. Por su parte, en modalidades preferidas de la invención el aglutinante (120) es un polisacárido que asegure la compatibilidad del material con el ambiente microbiano y, debido a sus características fisicoquímicas, tiene la capacidad de actuar como agentes gelificantes, estabilizantes, espesantes y formadores de película, tales como, pero sin limitarse a, el alginato de sodio, quitosano, gelatina, goma, instagel, pectina, agar marino o similares.

[039] Se puede resaltar que, si bien el material cerámico microestructurado (100) de acuerdo con la presente invención, puede presentar erosión y acumulación de material biológico igual que lo haría un coral, cuenta las siguientes ventajas: (i) al estar estandarizado el material original, es posible realizar estudios con certeza de cambios en el tiempo; (ii) no se deterioran corales naturales en la práctica; (iii) es transportable para estudios en laboratorio; (iv) disminuye de costos operativos y de diseño; (v) puede actuar en la reducción de deterioro asociado a *fouling*; y (vi) asegurar una mejor rentabilidad económica de la actividad oceánica.

[040] En una presentación, el material cerámico microestructurado (100) comprende además entre 0% y 20% de elementos complementarios (130) seleccionados de micro y nanomateriales, los cuales puede ser, sin limitarse a, materiales conductores para la funcionalización de superficies, tales como nanotubos de carbono, enzimas indicadoras de conductividad u otras variables de interés como la lacasa, así como aglutinantes enriquecidos promotores de crecimiento biológico tales como compuestos basados en citoquinas y actinomicetos, materiales antifúngicos o antimicrobianos espacialmente bioactivos y/o compuestos organoestánicos para limpieza y tratamiento antiincrustante, entre otros.

[041] En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método (200) de obtención un material con características físicas similares a la microestructura del esqueleto de un coral pétreo. El método de la invención cuenta con las fases de alistamiento de la materia prima (210), homogenización (220) y obtención (230) del material cerámico coralino (100), el cual brinda las condiciones de fabricación requeridas para la obtención de una pieza con material con características físicas similares a la microestructura del esqueleto de un coral. En caso de que en la fase de homogenización (220) se haya dado la forma del dispositivo (300), el producto resultante de la fase de obtención (230) será el dispositivo (300).

[042] Para este propósito se establecieron las características metodológicas que permiten consolidar una adecuada sinterización del material. Particularmente, se encontraron los rangos de temperatura que facultan la remoción de porosidad y

sintericen la matriz de carbonatos, fracturación, pulverización y reducción del tamaño de partícula de la matriz de carbonato para incorporación homogénea al proceso, y la relación de concentración $[g.ml^{-1}]$ del aglutinante para la compactación del material cerámico. Del mismo modo, se desarrolló una matriz que da origen a un ambiente de iones de carbono que permite generar biocompatibilidad y asegurar que no haya señales químicas que eviten colonización, por ejemplo, un material o elemento inerte.

[043] La primera fase del método es la fase de alistamiento de la materia prima (210). Para su ejecución se requieren caliza, aglutinante y generador de porosidades. Las posibles proporciones de caliza, de aglutinante y de generador de porosidades son: entre 55% y 90%, preferiblemente entre 74% y 76%, y más preferiblemente entre 74,1% y 75,2% de caliza; entre 10% y 30%, preferiblemente entre 20% y 25% y más preferiblemente entre 21,1% y 22,2 % de aglutinante; y entre 3% y 6%, y preferiblemente entre 3,7% y 3,8% de un generador de porosidades. Preferiblemente, la materia prima comprende 74% de polvo fino de caliza, 22,2% de aglutinante y 3,8% de generador de porosidades.

[044] La caliza se selecciona del grupo que consiste, pero no se limita a, roca carbonatada, sedimentaria de origen coralino, roca coralina, piedra caliza amarilla o combinaciones de los mismos. Por su parte, en modalidades preferidas de la invención, el aglutinante es un polisacárido que asegure la compatibilidad del material con el ambiente microbiano y, debido a sus características fisicoquímicas, tiene la capacidad de actuar como agentes gelificantes, estabilizantes, espesantes y formadores de película, tales como el alginato de sodio, quitosano, gelatina, goma, instagel, pectina, agar marino o similares. Por su parte, en modalidades preferidas de la invención, el generador de porosidades se selecciona de cualquier material que se evapore con las temperaturas del método, tal como el polietilenglicol (PEG), almidón de granulometría fina como el almidón de yuca y cisco de café. De preferencia, la calcita seleccionada es micrita, el aglutinante es alginato de sodio, y el generador de porosidades es polietilenglicol (PEG) a una concentración de $6000 g.mol^{-1}$.

[045] La fase de alistamiento de la materia prima (210) comprende los pasos de:

a. Activar y compactar el aglutinante (211).

- Se disuelve el aglutinante en agua. La disolución puede ser realizada por agitación. La agitación puede realizarse con una frecuencia de entre 1 a 10 rpm, de preferencia 4 rpm, por un tiempo de entre 10 a 30 min, de preferencia 20min.
- Se calienta la disolución a una temperatura entre 125 y 137°C, de preferencia 128°C. De preferencia, se debe evitar la ebullición e introducir burbujas con el elemento agitador.

- Se enfría la disolución por reposo a temperatura ambiente.
- b. Fragmentar y pulverizar la caliza (212).
 - Se fractura la piedra.
 - Se fractura la piedra usando herramientas estériles tal como mortero o matraz.
 - Se pulveriza la piedra usando herramientas estériles tal como molino de alta energía hasta obtener un diámetro final de entre 4 y 25 μm , en más del 60% de la muestra y un diámetro medio de entre 10 μm y 13 μm , de preferencia 12,55 μm $\pm$ 1.2 μm .
- c. Fracturar el generador de porosidades en cerámicos (213).
 - Se fractura el generador de porosidades usando herramientas estériles tal como mortero o matraz.

[046] La segunda fase del método es la fase de homogenización (220). La fase de homogenización (220) comprende los pasos de:

- a. Incorporar polvos finos (221).
 - Se mezcla la caliza pulverizada con el generador de porosidades fracturado.
- b. Incorporar aglutinante (222)
 - Se incorpora el aglutinante activado.
- c. Homogenizar el material cerámico (223)
 - Se homogeniza el material utilizando cualquier dispositivo de mezclado, tal como batidora.
- d. Ubicar en moldes (224)
 - Los moldes pueden tener forma geométrica regular o irregular.
- e. Asentamiento (226)
 - Se asienta material resultante para obtener una matriz de grada de material cerámico. De preferencia, se realiza el asentamiento en una incubadora o en un sistema cerrado.

[047] En una presentación de la invención, la fase de homogenización (220) comprende además un paso de colocar (225) elementos de sujeción (320) luego del paso de la ubicación en moldes (224).

[048] La tercera fase del método es la fase de obtención (230) del material. La fase de obtención del material (230) comprende los pasos de:

- a. Desmoldar (231)
 - Se desmolda la grada de material cerámico obtenido en la fase de homogenización (220);
- b. Curar la matriz (232)

- Se cura la matriz mediante calentamiento desde temperatura ambiente hasta una temperatura de entre 118 y 148°C, de preferencia 148°C, con pendiente preferida de 0,5°C/min durante un rango de tiempo de entre 2 h y 4 h, de preferencia 2 h;
- c. Sintetizar la matriz (233)
- Se sinteriza la matriz durante un tiempo de entre 2 h y 6 h, de preferencia 3 h, mediante la curva de temperatura:
 - i. Aumentar la temperatura desde entre 118 y 148°C, de preferencia 148°C, hasta una temperatura de entre 400°C y 900°C, de preferencia 600°C, con una pendiente preferida de 5°C/min;
 - ii. Mantener la temperatura alcanzada en i. de manera estable por un tiempo entre 2 h y 6 h, de preferencia 3 h.
 - iii. Enfriar material resultante de manera controlada hasta temperatura ambiente para obtener el material (100). El tiempo de enfriamiento deseado es de entre 3h a 4h, de preferencia 4h.

[049] En una presentación de la invención, en caso de que en la fase de homogenización (220) se haya enmoldado con la forma del dispositivo (300), el producto resultante de la fase de obtención (230) será el dispositivo (300).

[050] En un tercer aspecto de la invención, se presenta un dispositivo (300). Se encuentra fabricado a partir del material cerámico microestructurado (100). El dispositivo (300) tiene forma geométrica regular o irregular, con un volumen entre 0,1 m³ y 1 m³.

[051] De manera preferente, dicho dispositivo tiene forma de cilindro con una altura entre 1 cm y 5 cm, preferiblemente 2 cm, y diámetro entre 1 cm y 10 cm, preferiblemente 2,5 cm.

[052] En otra modalidad preferente, dicho dispositivo tiene forma de esfera con un diámetro entre 1 cm y 5 cm, preferiblemente 2,5 cm.

[053] Adicionalmente, en otra modalidad, el dispositivo (300) comprende además elementos de sujeción (120), seleccionados de elementos o piezas metálicas que cumplan con la función de anclar el dispositivo (300) y se pueden montar y desmontar en una maniobra fácil y sin deteriorar el dispositivo (300). Los elementos de sujeción (120) pueden ser metálicos, plásticos o de fibras naturales o textiles. Preferiblemente, los elementos de sujeción (120) son elementos de agarre de acero inoxidable tales como tornillos metálicos y/o guayas metálicas.

[054] Dicho dispositivo (300), en otra presentación, comprende además elementos electrónicos (330), seleccionados de elementos tales como, sin limitarse a, GPSs, sensores, instrumentos de medición de tiempo, procesadores, instrumentos de comunicación y/o memoria de datos, el cual permite identificar condiciones oceánicas.

[055] En presentaciones preferidas del dispositivo (300), este es ubicado en ambientes acuáticos tales como el suelo marino, y puede albergar y promover el crecimiento de especies, tales como corales, algas coralináceas (Rodolitos), comunidades microbianas del esqueleto coralino y microbioerosionadores.

[056] En presentaciones preferidas del dispositivo (300), se ubican conjuntos de múltiples dispositivos (300) a lo largo del suelo marino, ya sea en espacios llanos o en superficies con topografías variables de suelo marino.

[057] En otras preferidas del dispositivo (300), se ubican conjuntos de múltiples dispositivos (300) en elementos flotantes del océano.

[058] Para efectos de mejorar el entendimiento de la presente invención, se entiende por generador de porosidades a un reactivo y/o compuesto inorgánico u orgánico, o sus mezclas que tras su incorporación de expandido molido, fracturación o fraguado genera un sistema poroso conectado el cual se activa tras la activación de ligantes orgánicos.

[059] Para efectos de mejorar el entendimiento de la presente invención, se entiende por caliza oolítica de polvo fino a un polvo calcáreo denso o terroso compuesto por una gran cantidad de esferas de carbonato y formado naturalmente en la zona litoral de aguas saturadas en carbonatos de calcio.

[060] Para efectos de mejorar el entendimiento de la presente invención, “tamaño de partícula objetivo de caliza oolítica” hace referencia a polvo de caliza oolítica que corresponda a un tamaño de partícula medio de entre 12,55-13,16 μm y de 37,74 μm en el percentil 90.

[061] Para efectos de mejorar el entendimiento de la presente invención, se entiende por Ligante/Aglomerante a un estabilizador del sistema poroso. Sustancia orgánica que se solidifique y funcione como un sellador de uniones de la matriz de carbonatos.

[062] Pueden hacerse muchas modificaciones y variaciones a la invención tal como se designa en la presente sin apartarse del alcance de las reivindicaciones acompañantes.

[063] Todos los detalles pueden ser remplazados por otros detalles técnicamente equivalentes y los materiales, formas y dimensiones de los diversos componentes pueden utilizarse de acuerdo con los requerimientos de cada aplicación requerida.

EJEMPLOS

Ejemplo 1: implementación del método de fabricación.

Se obtiene una tonelada de caliza no procesada de la mina de Turbaco. Esta piedra se fracturó empleando un mazo para asegurar el tamaño de partícula y favorecer las condiciones procesamiento posterior. Con los fragmentos pequeños (aproximadamente 3-4 kg) se fracturaron de nuevo para ser agregados en un mortero y así obtener el polvo inicial. Posteriormente, el polvo inicial se procesó con un molino de alta energía (*Hi-speed Vibrating Sample Mill CMT model TI-100*) que generó la distribución de tamaño de partícula (aproximadamente 12.5 μ m).

Al momento de realizar la compactación de la mezcla homogénea. Primero se activaron 2 l de aglutinante, donde el aglutinante comprende alginato de sodio de grado molecular y agua tipo I. Estos componentes se homogenizaron y calentaron a 125-137 °C. Luego, se proceso el generador de porosidad (polietilenglicol 6000 / PEG) usando un mortero.

La mezcla húmeda comprendida por polvos secos, aglutinante y generador de porosidad, se estabilizó mediante la estandarización de un proceso de homogenización y control en una batidora industrial (motor de 1/6 H.P de velocidad fija) bajo el uso de los radios mencionados en la tabla 1. La mezcla húmeda se compactó en el interior de un utillaje plástico cilíndrico (6 cm diámetro y 2 cm de altura) y luego se dejó secar por 24 horas. Posteriormente fue desmoldado para pasar a la fase de sinterización.

Tabla 1. Proporción de componentes para la mezcla húmeda. ** Dado que el alginato de sodio es un material viscoso y su dosificación es compleja, las proporciones se ajustaron a un rango como se especifica en la tabla.

	Masa (g)		%p/p	
	A 28% en proporción de alginato**	A 30% en proporción de alginato**	A 28% en proporción de alginato**	A 30% en proporción de alginato**
Cilindro	50	50	0.752	0.741
Alginato de sodio	14	15	0.211	0.222
PEG 6000	2.5	2.5	0.038	0.037
Total	66.5	67.5	1.000	1.000

Finalmente, en la fase de sinterización se empleó una mufla (ABAREPHOR horno industrial de cerámica refractaria de 1200°C) bajo los siguientes parámetros: pendiente 1: 0.5°C.min⁻¹ hasta 148°C durante 2 horas, pendiente 2: 5°C.min⁻¹ hasta 600°C durante 3 horas, disminuir la temperatura gradualmente hasta la temperatura ambiente ~21°C durante 4 horas). Con este paso se buscó la coalescencia de las partículas por difusión al estado sólido a muy altas temperaturas, pero por debajo del punto de fusión de la mezcla. Se aseguro que la curva de temperatura comprendiera temperaturas superiores al punto de evaporación del agente de porosidad para su total remoción del producto final.

A partir de la mezcla de 2 l se obtuvieron un total de 36 dispositivos (300) los cuales se depositaron en una solución salina de 35 ppm durante 1-2 días. Luego, se dejaron secar a temperatura ambiente y se almacenaron hasta su uso en campo.

Ejemplo 2: Análisis de una o varias muestras del material.

Durante el desarrollo del material a 30 dispositivos (300) (1 cm de radio y 1 cm de altura) se les realizaron análisis para evaluar patrones de densidad y porosidad, distribución de poros y relación entre las familias porométricas. Se emplearon dos picnómetros de gas (UltraPyc 1200e y GeoPyc 1365), en cada corrida se analizó una muestra de 4 cm³. Por otro lado, el volumen se determinó calculando el cambio de presión resultante del desplazamiento del gas ocasionado por cada dispositivo (300) analizado y resolviendo la ley de los gases ideales. Además, la masa se calculó previamente en una balanza analítica. La porosidad se calculó como el volumen de los poros sobre el volumen aparente y se expresó como porcentaje tan cómo se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Variables poro simétricas recreadas desde distintas densidades.

Esqueletal ρ	Sólido ρ	Aparente ρ	Conectado φ	Aparente φ	Aislado φ
2,8895	2,7804	1,4512	48,3750	47,8012	-0,5738

Densidad (ρ) y Porosidad (φ)

A partir de estos análisis se encontró que el 62% de los dispositivos (300) analizados tuvieron una porosidad equiparable a un coral pétreo natural.

Ejemplo 3: Comparación con otras tecnologías.

El producto y el método desarrollados en la presente invención se relacionan con algunas de las tecnologías disponibles en el mercado. No obstante, estas tecnologías no equiparan el desarrollo en sus características estructurales y funcionalidades a la presente invención. Por ejemplo, la tecnología *Autonomous Reef Monitoring Structures* por sus siglas en inglés ARMS se enfoca en solucionar

el problema de estandarización de medición de biodiversidad de comunidades bentónicas; sin embargo, en comparación con la tecnología propuesta no muestra el desarrollo de algún material y solo hace referencia a la configuración de un sistema de cavidades elaboradas con cemento. De forma similar, *Bioerosion Monitoring Units* por sus siglas en inglés BMUs se enfoca en solucionar el problema de estandarización de medición de bioerosión, pero no demuestra innovación en el material. Ya que emplea esqueleto de coral blanqueado; mientras que la presente invención desarrolla un material que emula las condiciones de un coral pétreo natural sin afectar los corales ya establecidos en el medio marino. Por otra parte, *Reefy* tiene como propósito el diseño de soluciones basadas en la naturaleza para la restauración de arrecifes. No obstante, su método se relaciona con la presente invención ya que consiste en la impresión de módulos tipo lego a partir de materiales poliméricos. Por lo cual, no tiene el tema de mímesis de corales pétreos y no es vinculante de lo que ocurre dentro de una infraestructura calcárea natural.