

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 208**

51 Int. Cl.:

A01K 61/00 (2006.01)

C04B 28/02 (2006.01)

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 28/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.02.2014 PCT/IL2014/050164**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO2014125493**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2014 E 14707255 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2956001**

54 Título: **Procedimientos y matrices para promover el crecimiento de fauna y flora**

30 Prioridad:

14.02.2013 US 201361764800 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

21.06.2017

73 Titular/es:

**ECONCRETE TECH LTD. (100.0%)
13 Namirover St.
69713 Tel-Aviv, IL**

72 Inventor/es:

**FINKEL, SHIMRIT y
SELLA, IDO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 618 208 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimientos y matrices para promover el crecimiento de fauna y flora

Campo tecnológico

5 La presente invención proporciona procedimientos para promover el crecimiento de fauna y flora en entornos terrestres y acuáticos.

Técnica anterior

A continuación se enumeran las referencias que se considera que son relevantes como antecedentes de la materia objeto actualmente divulgada:

- 10 BULLERI, F. y CHAPMAN, M. G. (2010) The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology*, 47, 26-35.
- CHAPMAN, M. G. y UNDERWOOD, A. J. (2011) Evaluation of ecological engineering of "armoured" shorelines to improve their value as habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 302-313.
- CONNELL, S. D. y GLASBY, T. M. (1999) Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. *Marine Environmental Research*, 47, 373-387.
- 15 DUGAN, J. E., AIROLDI, A., CHAPMAN, M. G., WALKER, S. y SCHLACHER, T. (2011) Estuarine and coastal structures: environmental effects. A focus on shore and nearshore structures. EN WOLANSKI, E., ELLIOTT, M. & DUGAN, J. E. (Eds.) *Treatise on Estuarine and Coastal Science: 8. Human-induced problems (uses and abuses)*. Nueva York, Elsevier
- DYSON, K. L. (2009) *Habitat Enhancing Marine Structures: Creating habitat in urban waters*. Master of Marine Affairs Thesis. School of Marine Affairs, College of Ocean and Fishery Sciences, University of Washington.
- 20 GLASBY, T. M., CONNELL, S. D., HOLLOWAY, M. G. y HEWITT, C. L. (2007) Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? *Marine Biology*, 151, 887-895.
- GOFF, M. (2010) *Evaluating Habitat Enhancements of an Urban Intertidal Seawall: Ecological Responses and Management Implications*. MSc Thesis University of Washington
- 25 JAYAKUMAR, S. & SARAVANANE, R. (2010) Biodeterioration of Coastal Concrete Structures by Marine Green Algae. *International Journal of Civil Engineering*, 8, 352-361.
- JONES, C. G., LAWTON, J. H. y SHACHAK, M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373-386.
- LAM, N. W. Y., HUANG, R. y CHAN, B. K. K. (2009) Variations in Intertidal assemblages and zonation patterns between vertical artificial seawalls and natural rocky shores: A case study from Victoria Harbour, Hong Kong. *Zoological Studies*, 48, 184-195.
- 30 LI, B., REEVE, D. E. y FLEMING, C. A. (2005) Design for enhanced marine habitats in coastal structures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering*, 158, 115-122.
- LUKENS, R. R. y SELBERG, C. (2004) *Guidelines for Marine Artificial Reef Materials*. A Joint Publication of the Gulf and Atlantic States Marine Fisheries Commissions.
- 35 NAYLOR, L. A., VENN, O., COOMBES, M.A., JACKSON, J. THOMPSON, R.C. (2011) Including Ecological Enhancements in the Planning, Design and Construction of Hard Coastal Structures: A process guide. Report to the Environment Agency (PID 110461). Universidad de Exeter
- PERKOL-FINKEL, S., FERRARIO, F., NICOTERA, V. y AIROLDI, L. (2012) Conservation challenges in urban seascapes: promoting the growth of threatened species on coastal infrastructures. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1457-1466.
- 40 RISINGER, J. D. (2012) *Biologically Dominated Engineered Coastal Breakwaters*. PhD Thesis. Department of Biological and Agricultural Engineering. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- SCOTT, P. J. B., MOSER, K. A. y RISK, M. J. (1988) Bioerosion of Concrete and Limestone by Marine Organisms: A 13 year Experiment from Jamaica. *Marine Pollution Bulletin*, 19, 219-222.
- 45 WIECEK, D. (2009) *Environmentally Friendly Seawalls: A Guide to Improving the Environmental Value of Seawalls and Seawall-lined Foreshores in Estuaries*, Department of Environment and Climate Change NSW on behalf of Sydney Metropolitan Catchment Management Authority.
- Documentos US 7.144.196,
US 6.186.702,
50 US 556.436 y
US 2006/147.656

El conocimiento de las referencias anteriores del presente documento no tiene que inferir como indicando que estos son de cualquier modo relevantes para la patentabilidad de la materia objeto actualmente divulgada.

Antecedentes

- 55 Con casi dos tercios de la población humana viviendo a lo largo de la línea costera (Creel, 2003), la proliferación de infraestructuras costeras y marinas (CMI) que suministran diversas necesidades sociales, tales como transporte (puertos), energía (tuberías, centrales eléctricas y plataformas petrolíferas) y urbanización (puertos deportivos, malecones, rompeolas, etc.), es inevitable. Actualmente, >50 % de las líneas costeras mediterráneas están

dominadas por estructuras de hormigón (EEA, 1999), y en algunas regiones el crecimiento de ciudades, puertos e industrias ha desarrollado más del 90 % de la línea costera (Cencini, 1998). El resultado es una tendencia continua y en crecimiento del endurecimiento de la costa, reemplazando las líneas costeras naturales (Bulleri y Chapman, 2010, Dugan y col., 2011).

5 A pesar de la dominancia creciente de litorales endurecidos y blindados alrededor del mundo, nuestra comprensión de las especies particulares en CMI, especialmente respecto a sus efectos ambientales, es limitado (Connell y Glasby, 1999, Dugan y col., 2011). Este vacío en el conocimiento altera gravemente nuestra capacidad de controlar los entornos costeros urbanizados (Bulleri y Chapman, 2010). Los pocos estudios que han examinado el crecimiento marino en CMI tales como pontones y rompeolas encontraron especies particulares que diferían enormemente de
10 aquellas de los hábitats naturales adyacentes (por ejemplo, Connell, 2000, Lam y col., 2009). Las comunidades que se desarrollan en CMI típicamente son menos diversas que las especies particulares naturales, y están habitualmente dominadas por especies invasoras y molestas (Glasby y col., 2007). Esto principalmente resulta de las características físicas únicas de CMI, predominantemente, de la composición y del diseño. Las CMI a menudo incluyen superficies altamente inclinadas y homogéneas con complejidad superficial mínima, que comprimen la zona
15 intermareal a un estrecho cinturón que da soporte solamente a especies altamente tolerantes (Chapman y Underwood, 2011). Además, más del 50 % de las CMI están hechas de cemento Portland, que se sabe es un mal sustrato en términos de reclutamiento biológico, supuestamente debido a su alta alcalinidad superficial (pH ~13 en comparación con ~8 del agua marina) y por la presencia de compuestos que son tóxicos para la vida marina (Lukens y Selberg., 2004, EBM, 2004). Por tanto, la capacidad de los CMI de proporcionar servicios al ecosistema similares a los ofrecidos por los hábitats naturales está gravemente comprometida, y la mayoría de los entornos costeros
20 urbanos/industriales se consideran zonas sacrificadas en relación con la actividad ambiental.

En los últimos años, ha estado surgiendo un diferente enfoque, que utiliza principios de ingeniería ecológica (Bergen y col., 2001) para potenciar el valor biológico y ecológico de las CMI (por ejemplo, Li y col., 2005, Naylor, 2011). Hasta la fecha, las medidas de potenciación se concentraron en los aspectos de diseño y textura, con el objetivo de
25 atraer especies particulares naturales más abundantes y diversas (Wiecek, 2009, Goff, 2010, Dyson, 2009) produciendo ventajas ecológicas y estructurales. Estas ventajas están principalmente relacionadas con el crecimiento biogénico; un proceso natural en que especies constructoras como ostras, gusanos serpúlidos, percebes y corales depositan esqueletos de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre las superficies duras creando de ese modo un hábitat valioso para diversos organismos (Jones y col., 1994) contribuyendo también al mismo tiempo a la fuerza y la
30 estabilidad de las estructuras (Risinger, 2012). No obstante, los estudios que intentan modificar la composición de las CMI, haciéndolas favorables para especies de valor ecológico tales como ingenieros ecosistémicos, son escasos.

Los inventores de la presente solicitud proporcionan un enfoque integrador dirigido tanto a la composición como al diseño. Para esto, se ensayó una serie de cinco matrices innovadoras de cemento con el objetivo de potenciar los
35 entornos biológicos naturales, cumpliendo al mismo tiempo los requisitos formales de la construcción marina. Las nuevas matrices han reducido la alcalinidad en comparación con el cemento Portland, e incluyen diversos adictivos que disminuyen la dominancia del cemento Portland en la mezcla, haciéndolos potencialmente más hospitalarios para la vida marina. Además, se ensayó el impacto de la complejidad superficial aumentada, que se sabe que favorece el desarrollo biológico (Perkol-Finkel y col., 2012 y referencias en el mismo), y su interacción con la matriz
40 de cemento.

A continuación, en el presente documento, se detallan sus resultados de un experimento de un año, que evalúa el rendimiento biológico de las matrices de hormigón innovadoras, en comparación con el cemento Portland convencional en entornos tanto trópicos (Mar Rojo) como templados (Mar Mediterráneo). El impacto de la
45 composición y la complejidad se evaluaron de forma experimental usando una serie de experimentos de campo a largo plazo y ensayos controlados de laboratorio. Diferentes matrices de cemento mostraron diferente reclutamiento de diferentes especies particulares (en términos de entornos, biomasa y capacidades de reclutamiento de especies diana) en comparación con cemento Portland convencional. Además, la complejidad superficial aumentada produjo crecimiento potenciado de entornos biológicos naturales y deposición de carbonato cálcico por ingenieros ecosistémicos. Los resultados indican que ligeras modificaciones de la composición del hormigón y del diseño
50 pueden mejorar las capacidades de los CMI basados en hormigón de dar soporte a la fauna y a la flora marina potenciadas y proporcionar valiosos servicios de ecosistema. Dichos entornos biológicos naturales potenciados no comprometen la durabilidad del hormigón; por el contrario, proporcionan protección física con el tiempo, a través de adición de peso y bio-protección.

Descripción general

55 La presente invención proporciona una infraestructura marina de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una matriz de hormigón que tiene un pH de menos de 12 para su uso en la promoción del crecimiento de fauna y flora en entorno acuático.

En un aspecto adicional, la presente solicitud proporciona un procedimiento de promoción del crecimiento de fauna y flora en entornos terrestres y acuáticos, que comprende proporcionar una construcción marina de acuerdo con la
60 infraestructura de la reivindicación 1 compuesta de una matriz de hormigón que tiene un pH de menos de 12.

- 5 Cuando se hace referencia a "entorno acuático" debe entenderse que abarca cualquier tipo de masas de agua incluyendo, aunque sin limitación, marinas (incluyendo zonas oceánicas, zonas bálticas, zonas intermareales, zonas neríticas, estuarios, salinas, arrecifes de coral, lagos y pantanos de manglares) y de agua dulce (incluyendo lénticas, lólicas, humedales y estanques). La expresión se refiere a cualquier profundidad de dicho entorno acuático, a cualquier temperatura, en cualquier momento del año o condición climatológica y a cualquier caudal.
- 10 Cuando se hace referencia a "fauna y flora" debe entenderse que abarca cualquier tipo de planta, organismo o animal que es típico el ecosistema ambiental acuático implicado.
- 15 En algunas realizaciones, la fauna y flora marina incluye al menos uno de los siguientes: (i) especies constructoras tales como corales, ostras, gusanos serpúlidos, algas coralinas y percebes, que depositan un esqueleto cálcico que eleva la complejidad estructural de la estructura y crea un hábitat para otros organismos; (ii) organismos que se alimentan por filtración tales como ostras, mejillones, tunicados y esponjas que se alimentan usando órganos de filtración mientras en el proceso captan nutrientes y partículas orgánicas desde el agua; (iii) algas verdeazuladas endolíticas/epilíticas, y en ciertos casos, cuando la superficie del cemento está por encima del nivel del agua, también líquenes, hongos y musgos.
- 20 Cuando se hace referencia a "promoción del crecimiento de la fauna y la flora" debe entenderse que abarca cualquier promoción cualitativa o cuantitativa, potenciación, refuerzo, enriquecimiento, fortalecimiento, soporte, reclutamiento o soporte de la estabilidad, crecimiento, salud y proliferación de la fauna y flora que ya está creciendo o es capaz de crecer en un ecosistema ambiental acuático, que se puede medir por cualquier parámetro conocido en la técnica (número de individuos o especies, ciclo vital, cobertura de crecimiento o una de superficie, etc.).
- 25 En algunas realizaciones, dicha promoción de la fauna y flora marina facilita la deposición de materia inorgánica sobre la superficie de dicha estructura que puede alcanzar valores entre aproximadamente 50 a 1000 g/m² después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 1-10 metros. Mientras que la concentración de clorofila sobre la superficie de dicha estructura puede alcanzar valores entre aproximadamente 100 a 800 µg/m² después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 1-10 metros.
- 30 En otras realizaciones, dicha promoción de la fauna y flora marina proporciona nuevas adhesiones de coral sobre la superficie de dicha estructura que es entre aproximadamente 5 a 25 nuevas adhesiones en una superficie de 15 x 15 después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 1-10 metros, y las tasas de colonización de coral en condiciones de laboratorio y sobre la superficie de dicha estructura es entre aproximadamente el 5 al 60 % después de <1 mes.
- 35 La expresión "infraestructura de construcción marina" debe entenderse que abarca cualquier tipo, forma o tamaño de una infraestructura que se define como adecuada para la construcción marina incluyendo estructuras de defensa costera tales como rompeolas, malecones, revestimientos y barreras, mamparas, espigones, atracaderos e infraestructuras relacionadas tales como puertos, puertos deportivos, costaneras, paseos marítimos, etc. (véase también Army corps - SHORE PROTECTION MANUAL en <http://ia600208.us.archive.org/14/items/shoreprotectionm01unit/shoreprotectionm01unit.pdf>). Ejemplos de dichas infraestructuras de construcción marina incluyen, aunque sin limitación, escolleras reforzadas, equipos blindados, piscinas de marea, pilares, bases de puentes, terraplenes marinos, lechos de hormigón, cables subacuáticos y tuberías de revestimiento, equipos de ataque.
- 40 La expresión "matriz de hormigón" se refiere a una composición de hormigón que típicamente comprende al menos un tipo de cemento (tal como, por ejemplo, cemento Portland o cementos de aluminato de calcio), al menos un agregado (tal como, por ejemplo, piedra caliza, piedra azul), arena (agregado de clasificación fina de menos de 4,75 mm y/o un agregado natural o triturado de menos de 0-2 mm) y agua (potable, y no debe contener más de 1000 partes por millón de cloruros o sulfatos, sin sustancias dañinas tales como plomo, cobre, cinc (<5 ppm) o fosfatos (<5 ppm)).
- 45 En un aspecto adicional, la invención proporciona un procedimiento de promoción del crecimiento de flora endolítica y epilítica, que comprende proporcionar una infraestructura compuesta de una matriz de hormigón que tiene un pH superficial de menos de 12. Debe apreciarse que dicha infraestructura puede ser denominada estructura terrestre bioactiva (es decir, estructura bioactiva por encima del nivel del mar, sin embargo, con suficiente humedad y precipitados para promover el crecimiento de flora terrestre como en sistemas naturales).
- 50 La expresión "flora endolítica y epilítica" debe entenderse que abarca líquenes, hongos, musgos, así como algas verdeazuladas.
- Debe apreciarse que dicha flora endolítica y epilítica puede crecer en entornos terrestres - con suficiente humedad y precipitados.
- 55 En algunas realizaciones, dicha infraestructura mencionada en el presente documento anteriormente es un elemento de "pared bioactiva" que está diseñada para inducir una rápida cobertura por paredes vegetales de construcciones terrestres. La cobertura de plantas verdes mejora significativamente el paisaje urbano, proporciona un aire más limpio y más sano, y reduce la huella ecológica del desarrollo urbano. Las propiedades físicas y químicas de los sustratos de pared influyen fuertemente sobre su capacidad de dar soporte y potenciar el crecimiento. En algunas

realizaciones, dicha estructura de pared bioactiva incluye el crecimiento natural de plantas trepadoras, algas endolíticas, líquenes y musgos. En algunas realizaciones adicionales, dicha estructura de pared bioactiva tiene alta complejidad y porosidad que permite crear nichos húmedos que dan soporte a la flora, sin la necesidad de sistemas complejos de suelo.

- 5 En otro aspecto, invención proporciona un procedimiento de promoción del crecimiento de flora y fauna anaerobia y aerobia, endolítica y epilítica, que comprende proporcionar una estructura compuesta de una matriz de hormigón que tiene un pH de menos de 12.

- 10 En algunas realizaciones, dicha estructura mencionada en el presente documento anteriormente es una estructura de "roca viva", es decir, una estructura de acuerdo con la invención colocada en entornos marinos cerrados separados, tales como, por ejemplo, un acuario (tal como acuario de agua salina). Dichas estructuras de roca viva confieren a los entornos marinos cerrados múltiples beneficios deseados por el aficionado a acuarios de agua salina. Una estructura de roca viva de la invención proporciona un filtro biológico superior que aloja bacterias nitrificantes tanto aerobias como anaerobias necesarias para el ciclo del nitrógeno que procesa los residuos. Por tanto, dicha roca viva se convierte en la base de nitrificación biológica principal o filtro biológico de un acuario de agua salina.
- 15 Adicionalmente, una estructura de roca viva de la invención también puede tener un efecto estabilizante sobre la química del agua, en particular para ayudar a mantener el pH constante por liberación de carbonato cálcico. Adicionalmente, una estructura de roca viva es un elemento decorativo del acuario y proporciona refugio para los habitantes.

- 20 Debe apreciarse que la promoción del crecimiento de flora y fauna anaerobia y aerobia, endolítica y epilítica, tal como, por ejemplo, *nitrobacter* y *nitrosomans*.

En algunas realizaciones, dicha matriz de hormigón tiene un pH de menos de aproximadamente 11. En otras realizaciones, dicha matriz de hormigón tiene un pH entre aproximadamente 9 a aproximadamente 10,5.

- 25 En algunas realizaciones, dicho pH de dicha matriz de hormigón es el pH de sustancialmente la infraestructura completa de hormigón. En otras realizaciones, dicho pH de dicha matriz de hormigón es el pH de sustancialmente la superficie superior de dicha infraestructura. En más realizaciones adicionales, el grosor de dicha superficie superior es de aproximadamente 5 cm o mayor.

En algunas realizaciones, la salinidad de dicho entorno acuático es entre aproximadamente 0 a 45 ppm (partes por mil) (es decir, la salinidad puede ser de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ppm).

- 30 La potenciación de la flora y fauna se refiere a entornos acuáticos en áreas expuestas a luz suficiente, es decir, dentro de la zona fótica (0-100 metros de profundidad máxima) y en áreas del lecho marino y hasta la zona de salpicadura, o por encima para estructuras bioactivas que dan soporte a flora terrestre.

En algunas realizaciones, dicha infraestructura tiene una rugosidad de la superficial que tiene un grado de rugosidad de al menos 12. En otras realizaciones, dicha infraestructura tiene un valor RA de al menos 50 micrómetros. Además, dicha infraestructura tiene una textura superficial con un valor RA de 5-20 mm.

- 35 En algunas otras realizaciones, dicha matriz de hormigón tiene un peso por volumen entre aproximadamente 1100 a aproximadamente 2500 kg/m³. En más realizaciones adicionales, dicha matriz de hormigón tiene un peso por volumen entre aproximadamente 1100 a aproximadamente 1800 kg/m³.

En realizaciones adicionales, dicha matriz de hormigón comprende aditivos y cementos en peso entre el 0 a aproximadamente el 90 % del peso de cemento Portland o remplazándolo completamente.

- 40 En otras realizaciones, dicha matriz de hormigón comprende al menos uno de cementos de microsílíce/humo de sílice y metacaolín y aluminato cálcico. En algunas realizaciones indicadas anteriormente, se añade cemento de sílice y/o metacaolín y/o alúmina cálcica a la matriz de hormigón para remplazar cualquier cantidad equivalente % en peso de cemento Portland en la matriz.

- 45 En algunas realizaciones adicionales, dicha matriz de hormigón tiene una resistencia a compresión promedio entre aproximadamente 30 a 80 MPa (es decir, aproximadamente 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 o 80 MPa). (ASTM C 39 (AASHTO T 22)).

En algunas realizaciones adicionales, dicha matriz de hormigón tiene una resistencia a la penetración por presión de agua de entre aproximadamente 5 a 50 mm bajo una presión de 700 kPa (7 bar) (es decir, aproximadamente 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 mm). (EN 12390-8).

- 50 En otras realizaciones, dicha matriz de hormigón tiene una resistencia a la penetración por cloruro entre aproximadamente 500 a 2000 culombios (es decir, aproximadamente 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000 culombios). (ASTM c 1202).

Breve descripción de los dibujos

Para entender mejor la materia objeto que se divulga en el presente documento y para ejemplificar el modo en que puede ponerse en práctica, ahora se describirán realizaciones, a modo de ejemplo no limitante solamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

5 La **Fig. 1** representa el 2D-MDS de los datos de la comunidad de las dos estaciones de campo (Mar Rojo = cuadrados; Mar Mediterráneo = triángulos) correspondientes a 3 meses (indicados Red3, Med3, respectivamente), 6 meses (indicados Red6, Med6, respectivamente) y 12 meses (indicados Red12, Med12, respectivamente) después del despliegue. Cada punto representa una loseta (caras de losetas combinadas).

10 La **Fig. 2** representa el 2D-MDS de datos de comunidad típicos. Cada punto representa una loseta (caras combinadas). El ejemplo del Mar Rojo, 6 meses después del despliegue, muestra las diversas matrices de hormigón de la invención (indicadas M1, M2, M3, M4, M5 respectivamente) en el lado derecho del diagrama, mientras que las losetas de cemento Portland están agrupados a la izquierda.

15 Las **Fig. 3A-3B** proporcionan una comparación esquemática del porcentaje de cobertura viva 3, 6 y 12 meses después del despliegue (indicado como 3M, 6M y 12M respectivamente) sobre diversas matrices innovadoras de hormigón de la invención (indicadas como M1, M2, M3, M4 y M5 respectivamente) en comparación con cemento Portland. La Fig. 3A proporciona cobertura viva en el Mar Rojo (indicado Red). La Fig. 3B proporciona cobertura viva en el Mar Mediterráneo (indicado Med). La línea sólida representa caras de losetas lisas (indicado S) mientras que la línea de puntos representa las caras con textura (indicado T).

20 Las **Fig. 4A-4C** muestran el reclutamiento típico de organismos bénticos en matrices de hormigón de la invención (ejemplo de M4, 6 meses después del despliegue en el Mar Rojo). La Fig. 4A muestra la cara con textura completamente con cobertura del 100 %. La Fig. 4B muestra la cara lisa de la misma loseta con incorporaciones limitadas. La Fig. 4C muestra el 2D-MDS de los datos de la comunidad. Cada punto representa una cara de loseta (cara con textura = cuadrado, cara lisa = círculo). El ejemplo de losetas en el Mar Rojo, 6 meses después del despliegue muestra la separación entre la cara de la loseta con textura (superior) y lisa (inferior).

25 Las **Fig. 5A-5B** proporcionan una comparación esquemática de biomasa orgánica (línea de puntos, indicada O) e inorgánica (línea sólida, indicada 1) acumulada en matrices de hormigón de la invención (indicadas M1, M2, M3, M4 y M5 respectivamente) en comparación con cemento Portland, 6 y 12 meses después del despliegue (indicado 6M y 12M, respectivamente). La Fig. 5A muestra la comparación en el Mar Rojo (indicado Red). La Fig. 5B muestra la comparación en el Mar Mediterráneo (indicado Med).

30 La **Fig. 6** proporciona una comparación esquemática de concentraciones de clorofila a sobre matrices de hormigón de la invención (indicadas M1, M2, M3, M4 y M5 respectivamente) en comparación con cemento Portland, 6 meses (indicado 6M) y 12 meses (indicado 12M) después del despliegue en las estaciones del Mar Mediterráneo (indicado Med) y del Mar Rojo (indicado Red).

35 Las **Fig. 7A-7B** proporcionan una comparación esquemática de nuevas adhesiones de coral en matrices de hormigón de la invención (indicadas M1, M2, M3, M4 y M5 respectivamente) en comparación con cemento Portland después de 3 meses (indicado 3M), 6 meses (indicado 6M) y 12 meses (indicado 12M) después del despliegue. Los valores representan la cantidad total de nuevas adhesiones por matriz de hormigón (losetas y caras de losetas combinadas). La Fig. 7A muestra nuevas adhesiones de corales blandos. La Fig. 7B muestra nuevas adhesiones de corales pétreos.

40 Las **Fig. 8A-8C** proporcionan una comparación esquemática de la adhesión natural de fragmentos de *D. hemprichi* (Fig. 8A), colonización de larvas de *H. fuscescens* (Fig. 8B) y colonización de larvas de *B. neritina* (Fig. 8C) en matrices de hormigón de la invención (indicadas M1, M2, M3, M4 y M5 respectivamente) en comparación con cemento Portland.

La **Fig. 9** representa el material desechado compuesto de crecimiento biogénico cálcico acumulado sobre la matriz de hormigón de la invención indicada como loseta M4, Fig. 3 meses después del despliegue.

45 **Descripción detallada de las realizaciones**

Materiales y procedimientos

Experimento de campo

50 Se ensayaron las capacidades de incorporación (en términos tanto de flora como de fauna) de cinco diferentes matrices de hormigón en comparación con cemento Portland convencional. Todas las matrices ensayadas resisten las fuerzas de compresión de 30-50 MPa, que cumplen los diferentes requisitos de la construcción marina (véase la sección "preparación de matrices de hormigón"). A parte del ensayo del efecto de la composición del hormigón sobre la incorporación, se ensayó el efecto de la textura superficial, es decir, superficie lisa frente a con textura, sobre la incorporación de la flora y fauna marina. La incorporación se ensayó simultáneamente en el entorno trópico del Mar Rojo, en el Inter University Institute en Eilat, y en aguas templadas del Mar Mediterráneo cerca de Ashdod, Israel.

Se usaron losetas de hormigón de 15 x 15 x 4 cm para el experimento de campo. Cada loseta, que pesaba aproximadamente 2.5 kg, tenía una cara lisa y una con textura. La textura se formó usando un revestimiento de plástico, que crea una textura de tipo pólipos de coral. Se prepararon diez replicas para cada una de las 5 matrices ensayadas (M1-M5) y del control Portland. Cada loseta se marcó con un número de identificación (1, 2, 3...) que no revela la composición de la matriz. El tipo de matriz para cada número de loseta se enumeró por separado, permitiendo un muestreo "enmascarado" (es decir, los inspectores muestreaban las losetas sin conocer su composición de hormigón), eliminando una recogida de datos sesgada. Las losetas se montaron en un tablero de malla metálica desplegado en el mar. En la estación del Mar Rojo, las losetas se colocaron a 10 m de profundidad, mientras que la estación del Mar Mediterráneo, debido a las condiciones poco profundas del lecho marino, a 6 m de profundidad. Las losetas de las diversas matrices se dispusieron aleatoriamente sobre el tablero de malla, con la cara con textura orientada hacia el mar.

Se muestrearon cinco losetas de cada matriz 3, 6 y 12 meses después del despliegue. En cada evento de control, las losetas se recuperaron temporalmente del mar y se transfirieron completamente sumergidas al laboratorio. Se inspeccionaron cuidadosamente ambas caras de cada loseta usando un microscopio de disección, se fotografiaron y se muestrearon antes de volver a desplegarlas. La cuantificación de la cobertura de los taxones incorporados en cada cara de la loseta se realizó usando una rejilla de 1 x 1 cm, de acuerdo con Perkol-Finkel y col. (2008). Los datos indicados incluían composición de taxones, porcentaje de cobertura de organismos coloniales (briozoos, tunicados y esponjas), y número de organismos solitarios (tunicados, bivalvos y percebes). Los grupos taxonómicos que no pudieron contarse como individuos (es decir, grupos de gusanos serpúlidos), o los que difieren en densidad (césped y algas coralinas), se clasificaron del siguiente modo: 0 - ausente, 1- escasamente dispersado, 2 - densamente dispersado y 3 - densamente uniforme.

Además, durante 6 y 12 meses después del despliegue, se midió la concentración de clorofila y la biomasa (peso seco orgánico e inorgánico), raspando cuidadosamente todos los organismos bénticos y las algas de un cuarto de la superficie lisa de cada loseta según Perkol-Finkel y col. (2006). Se muestreó un cuarto adicional de cada superficie lisa para el análisis del contenido de clorofila según Greenberg (1995).

El análisis de datos incluyó ensayos PERMANOVA unilaterial de una variable, basados en el índice de similitud de distancias euclidianas, para biomasa orgánica e inorgánica, concentración de clorofila y porcentaje de cobertura viva, así como análisis de datos de múltiples variables de grupos de taxones por ensayos PERMANOVA a-paramétricos basados en el índice de similitud de Bray-Curtis. Además, se aplicaron ensayos post-hoc por parejas cuando fue relevante. Se usaron diagramas 2D-MDS para representar de forma gráfica las tendencias en los datos de múltiples variables. Todos los análisis se realizaron usando los programas PRIMER/PERMANOVA (Anderson y col., 2008, Clarke y Gorley, 2006). Los datos en las figuras se presentan como el promedio \pm ET salvo que se mencione de diferente forma.

Experimentos de laboratorio

Para cuantificar las capacidades de potenciación de incorporación de las cinco diferentes matrices de hormigón en comparación con las de cemento Portland convencional, se realizaron experimentos de laboratorio *in vitro*. Estos incluían dos especies de coral blando; *Heteroxenia fuscescens* y *Dendronephthya hemprichi*, así como larvas de briozoo que se alimenta por filtración *Bugula neritina*. La recogida de larvas de *H. fuscescens* y *B. neritina* se realizó por incubación de colonias en el laboratorio, mientras que para *D. hemprichi* se prepararon fragmentos diminutos manualmente a partir de colonias adultas usando clasificadores. Se controló la colonización de larvas/fragmentos 1 semana después del inicio del experimento, excepto para la colonización de *H. fuscescens* que se examinó 1 mes después del inicio del experimento debido a su proceso más lento de colonización. Durante el control, se determinó la cantidad de larvas/fragmentos sedimentados en cada cubo.

Las unidades de ensayo consistían de cubos de hormigón de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm correspondientes a las cinco matrices ensayadas en el campo (M1-M5) en comparación con controles de cemento Portland. Durante cada experimento, se ensayaron 5-8 réplicas de cada matriz (dependiendo de la disponibilidad de larvas). Para esto, cada cubo de hormigón se colocó en un vaso de precipitados individual de 250 ml lleno de agua de mar corriente y se dejó durante 3 días para su aclimatación. Después de la aclimatación, se añadió una cantidad uniforme de larvas a cada vaso de precipitados. La cantidad de larvas introducidas a cada vaso de precipitados varió de acuerdo con la disponibilidad de larvas, variando de un mínimo de 5 por vaso de precipitados hasta un máximo de 40 larvas por vaso de precipitados. La temperatura del agua se mantuvo similar a la de las condiciones naturales. Los vasos de precipitados se colocaron completamente sumergidos en una tabla de agua corriente con buena circulación. Si se examinaban larvas móviles, los vasos de precipitados se sumergían en el sistema de agua corriente hasta $\frac{3}{4}$ de su altura hasta la colonización de las larvas iniciales (típicamente, 24-72 horas) después de lo cual se sumergieron completamente.

El análisis de los datos incluyó ensayos PERMANOVA unidireccionales de una variable, basados en el índice de similitud de distancias euclidianas, y ensayos post-hoc por pares, usando los programas PRIMER/PERMANOVA (Anderson y col., 2008, Clarke y Gorley, 2006).

Preparación de matrices de hormigón

Las matrices ensayadas en este estudio variaban en la cantidad de cemento Portland en la mezcla, el uso de otros cementos, el contenido de aire y la mezcladora de adición. Se incluyeron microfibras de 25 mm de prevención de grietas en todas las matrices. Las matrices se mezclaron por una mezcladora horizontal de 80 litros y se moldearon en formas de 10 x 60 x 160 cm con revestimientos de plástico. Después de 28 días, las planchas de hormigón se cortaron con una sierra de mármol de chorro de agua en losetas experimentales de 15 x 15 cm. Como solamente se aplicaba el revestimiento a una de la cara inferior de la forma, cada loseta tenía una cara con textura y una lisa.

Todas las matrices se ensayaron de acuerdo con normas ASTM o EN incluyendo: resistencia compresión - ASTM C 39 (AASHTO T 22), resistencia a penetración por presión de agua - EN 12390-8, resistencia a penetración por iones cloruro - ASTM C1202-12. Los valores de pH del hormigón se comprobaron recogiendo 5 gr de residuo perforado a partir de orificios perforados de 0,5 cm de profundidad en la superficie de hormigón y mezclándolos en 50 ml de agua destilada (pH 7). Todas las matrices de hormigón ensayadas (MI-M5) mostraron valores de pH inferiores que la mezcla basada en cemento Portland (9-10,5 en comparación con 12,5-13,5 respectivamente, Tabla 1). En términos de resistencia a compresión, MI-M5 tuvieron resistencia similar o mayor que la de la mezcla basada en cemento Portland, alcanzando los valores como mucho 39,3 MPa (M2). Todas las matrices excepto M4 y M5, que tenían un alto contenido de aire, presentaban mayor resistencia a la penetración de iones cloruro (<1500 culombios) que la mezcla basada en cemento Portland con densidad similar (2300-2500 kg/m³), y resistencia a penetración por presión de agua (<20 mm).

Tabla 1: Parámetros físicos de las diversas matrices de hormigón innovadoras en comparación con cemento Portland.

Matriz	Relación agua/cemento	pH	Resistencia promedio a la compresión por iones (MPa)	Peso (kg/m ³)	Resistencia a la penetración por presión de agua (mm)	Resistencia a la penetración por cloruro (culombios)
M1	0,3	9-10	32,5	2300-2500	<20	<1500
M2	0,3	9,5-10,5	48,5	2300-2500	<20	<1000
M3	0,3	9,5-10,5	39,3	2300-2500	<20	<1000
M4	0,3	9-10	31,1	1400-1800	NR	NR
M5	0,3	9-10	31,9	1400-1800	NR	NR
Portland	0,30 -0,25	12,5-13,5	32	2300-2500	<20	>2000

NR- No relevante para hormigón de alto contenido de aire

Resultados

Experimento de campo

Los análisis estadísticos de los datos de comunidad revelaron diferencias significativas en los grupos de especies entre sitios (Mar Rojo frente a Mar Mediterráneo: $df=1$, $pseudo\ f=177,47$, $P=0,001$), los meses después del despliegue (3, 6, 12 m: $df=2$, $pseudo\ f=83,38$, $P=0,001$), los tipos de matriz (M1-M5, Portland: $df=5$, $pseudo\ f=2,45$, $P=0,001$) y la cara de la loseta (lisa frente a con textura: $df=1$, $pseudo\ f=11,12$, $P=0,001$). La Fig. 1 ilustra la diferente estructura de comunidad de las estaciones del Mar Rojo y Mar Mediterráneo, así como claros patrones temporales que indican que la estructura de comunidad gana similitud con el tiempo, como se indica por la proximidad relativa de grupos 12 meses después del despliegue (sombras oscuras) en comparación con los de 3 y 6 meses (sombras más claras) que aparecen más alejados en el MDS.

La composición de taxones incorporados a las diferentes matrices de hormigón también varió entre los sitios y con el tiempo (término de interacción significativa sitio x matriz: $df=5$, $pseudo\ f=1,50$, $P=0,049$ y mes x matriz: $df=10$, $pseudo\ f=1,37$, $P=0,037$). Sin embargo, la tendencia general indicaba que las losetas compuestas de cemento Portland se agrupaban por separado desde las otras matrices de hormigón (MI-5), como se observa en la Fig. 2. El nivel de similitud entre las diversas matrices varió con el tiempo y entre los sitios.

Los análisis del porcentaje de cobertura viva (Fig. 3) apoyaba los resultados de los análisis de datos de comunidad de múltiples variables, revelando que la cobertura viva difería entre los sitios ($df=1$, $pseudo\ f=6,11$, $P=0,009$), los meses ($df=2$, $pseudo\ f=133,36$, $P=0,001$), la cara de la loseta ($df=1$, $pseudo\ f=20,58$, $P=0,001$) y las matrices ($df=5$, $pseudo\ f=27,57$, $P=0,001$). La tendencia en el porcentaje de cobertura de las diversas matrices era constante entre los sitios, pero cambiaba con el tiempo y en relación a la cara de la loseta (términos significativos de interacción: mes x matriz, $df=10$, $pseudo\ f=4,64$, $P=0,001$ y mes x cara, $df=2$, $pseudo\ f=9,00$, $P=0,001$). Las comparaciones por pares muestran que tan pronto como 3 meses después del despliegue, las losetas de cemento Portland tenían menor cobertura viva en comparación con las otras matrices, principalmente, MI, M4 y M5 que reclutaban el mayor porcentaje de cobertura viva.

5 Cuando se examinan las tendencias relacionadas con la complejidad de la superficie de la loseta, es evidente que aunque en la estación del Mar Rojo las diferencias entre la cara lisa y con textura de la baldosa eran constantes con el tiempo, en la estación del Mar Mediterráneo, la diferencia entre las caras de la loseta era inicialmente significativa (3M después del despliegue), aunque no significativas 6 y 12 meses después del despliegue. Estos resultados están de acuerdo con los análisis de datos de comunidad de múltiples variables del Mar Rojo, que indican claramente que la textura superficial compleja global, en oposición a la lisa, incorporaba un grupo béntico más diverso y denso (Fig. 4).

10 Las diferencias en las capacidades de incorporación de las diversas matrices de hormigón innovadoras en comparación con las losetas de cemento Portland eran muy evidentes a partir de los análisis de biomasa realizados 6 y 12 meses después del despliegue, específicamente, en relación con el material inorgánico (Fig. 5). Aunque la cantidad de materia orgánica incorporada en las losetas difería entre los sitios ($df=1$, $pseudo f=4,93$, $P=0,029$), no apareció tendencia significativa en relación a los meses después del despliegue o entre las diversas matrices. No obstante, las concentraciones de materia inorgánica diferían significativamente entre los sitios ($df=1$, $pseudo f=83,53$, $P=0,001$), meses ($df=1$, $pseudo f=11,16$, $P=0,002$) y matrices ($df=5$, $pseudo f=7,28$, $P=0,001$). Esta diferencia cambiaba con el tiempo entre los sitios (interacción significativa sitio x mes: $df=1$, $pseudo f=4,23$, $P=0,039$), y las comparaciones por pares indicaron que en la estación del Mar Rojo M5 y M4 eran las que dirigían las diferencias entre las matrices, con los valores más altos en comparación con otras matrices, mientras que en la estación del Mar Mediterráneo M1, M4 y M5 tenían los mayores valores sobre materia inorgánica en comparación con el resto de las matrices.

20 La cantidad de material inorgánico reclutado en las losetas de ensayo en el Mar Mediterráneo era coherentemente mayor que la reclutada en el Mar Rojo. No obstante, los valores eran generalmente altos en ambas estaciones con un promedio de 41.51625,63 gr/m^2 en la estación del Mar Mediterráneo y de 201.14610,28 en la estación del Mar Rojo. Un año después de la inmersión, matrices similares mostraron la mayor acumulación de material inorgánico en ambas estaciones del Mar Rojo y Mar Mediterráneo, estando M1, M4 y M5 con valores en el Mar Mediterráneo de 5.476.107,58, 65.951.665,844 y 55.395.694,94 gr/m^2 respectivamente y de 27.231.633,84, 24.979.637,00 y 25.703.639,34 gr/m^2 en el Mar Rojo.

30 El contenido de clorofila a también difería significativamente entre los sitios ($df=1$, $pseudo f=52,62$, $P=0,001$), meses después del despliegue ($df=1$, $pseudo f=9,09$, $P=0,001$) y las matrices ($df=5$, $pseudo f=4,86$, $P=0,001$). Aunque la mayoría de los casos las concentraciones de clorofila a variaban entre meses y matrices en las dos estaciones de estudio (término de interacción significativa sitio x meses x matriz: $df=5$, $pseudo f=2,84$, $P=0,015$), como puede observarse en la Fig. 6, una tendencia fue constante en ambas estaciones, donde las concentraciones de clorofila a en losetas M1 eran significativamente mayores que las de losetas de cemento Portland ($P < 0,05$ en ambas estaciones).

35 La incorporación de coral, que se encontró solamente en el entorno tropical del Mar Rojo, era generalmente baja durante los primeros 6 meses después del despliegue y enormemente creciente en el último control (Fig. 7). Después de un año, se identificaron diferencias significativas en las capacidades de incorporación entre las diversas matrices, resultante principalmente de los resultados de la incorporación de coral blando ($df=5$, $pseudo f=3,74$, $P=0,015$). Los análisis por pares de los datos de coral blando muestran que M5 y M1 tenían una incorporación significativamente mayor que losetas de cemento Portland, independientemente de la cara colocada.

40 Experimentos de laboratorio

45 La adhesión natural de fragmentos de *D. hemprichii* fue significativamente diferente entre las diversas matrices (Fig. 8A, $df=5$, $pseudo f=2,75$, $P=0,042$), donde el cemento Portland tenía las tasas de adhesión más bajas (adhesión del $16\pm 9,42\%$), mientras que M1 y M5 tenían las tasas mayores de adhesión ($44\pm 11,86\%$ y $36\pm 6,69\%$ respectivamente). También fue evidente una tendencia similar, aunque no significativa a partir del experimento con larvas de *H. fuscescens* (Fig. 8C). Aunque el cemento Portland mostró el promedio más bajo que las matrices ecológicamente activas, debido a la alta variabilidad de los resultados, esto no estuvo apoyado por el ensayo estadístico. No obstante, las comparaciones por pares encontraron una diferencia marginalmente significativa entre cemento M5 y cemento Portland ($P=0,067$). El experimento con larvas de *B. neritina*, sin embargo, produjo resultados significativos (Fig. 8C, $df=4$, $pseudo f=4,05$, $P=0,009$), donde el cemento Portland tuvo las tasas más bajas de colonización (adhesión del $2,35\pm 1,25\%$), mientras que M1 las tasas mayores de incorporación ($14,14\pm 7,20\%$). Obsérvese que los resultados de M5 no se incluyeron en esta ocasión ya que debido a un error técnico no se incluyó M5 en el experimento.

Discusión

55 Con las predicciones globales de crecimiento aumentado en poblaciones costeras, las tendencias del endurecimiento de la costa y la expansión de las ciudades costeras, se espera que aumente adicionalmente. Además, a la luz de los procesos relacionados con el cambio climático global, las líneas de costa están encarando amenazas crecientes relacionadas con la elevación del nivel del mar y el aumento de tormentas (Dugan y col., 2011 y referencias en el mismo), que pide una revisión inmediata de las actuales medidas de defensa costeras. Este trabajo examina un enfoque innovador de aplicar ligeras modificaciones a la composición y a la textura superficial del

hormigón, con el objetivo de facilitar el crecimiento marino y fomentar la concentración biogenética. Tres de las cinco matrices ensayadas (M1, M4 y M5) se descubrió que eran ecológicamente activas, mostrando capacidades potenciadas de incorporación en comparación con cemento Portland convencional. Esto fue evidente para la mayoría de los parámetros biológicos examinados en el laboratorio y en el campo, en ambas estaciones de muestreo. Globalmente, estas matrices ecológicamente activas incorporaron mayor cobertura viva (Fig. 1), más materia inorgánica (Fig. 5) y tenían mayores tasas de colonización de corales y de organismos diana (Fig. 7-8) que la mezcla basada en cemento Portland convencional. Las capacidades potenciadas de incorporación de grupos naturales de flora y fauna marina en CMI basados en hormigón producen ventajas estructurales, ambientales y socioeconómicas valiosas.

En términos de ventajas estructurales, como las CMI a menudo se usan para la defensa costera (por ejemplo, rompeolas y malecones), el peso y la estabilidad desempeña una función principal en el rendimiento estructural. En este estudio, las matrices de hormigón ecológicamente activas acumulaban significativamente más materia inorgánica que el cemento Portland. El crecimiento biogénico de los ingenieros ecosistémicos como ostras, gusanos serpúlidos, percebes y corales, aumenta el peso de las estructuras, contribuyendo a su estabilidad y resistencia (Risinger, 2012). De acuerdo con nuestros resultados, puede añadirse un promedio de 413 (Mar Mediterráneo) - 201 (Mar Rojo) g/m² a superficies de hormigón ecológicamente activo en un periodo de 12 meses, alcanzando valores máximos de 1 kg/m² en el Mar Mediterráneo y casi de 0,5 kg/m² en el Mar Rojo.

Aunque hay casos en que el crecimiento de los organismos marinos, principalmente esponjas cavadoras o ciertas especies de algas verdes, puede deteriorar las superficies de hormigón (Jayakumar y Saravanane, 2010, Scott y col., 1988), nuestros resultados indicaron efectos bioprotectores beneficiosos. Además de contribuir al peso global de la CMI, el crecimiento biogénico de algas coralinas, ostras, corales y gusanos serpúlidos, puede reforzar la superficie de hormigón. Por ejemplo, Risinger (2012) que examinó la influencia del crecimiento de ostras sobre la resistencia del hormigón, descubrió que el hormigón cubierto con crecimiento marino mostraba un aumento significativo de factor diez en la resistencia a la flexión durante un periodo de dos años. Aparte de la adición de peso, el crecimiento biogénico también aumenta la unión entre elementos adyacentes de infraestructura (equipos blindados, elementos de malecón prefabricados, etc.), ya que el crecimiento marino actúa como pegamento biogénico que puede ayudar a absorber la energía de las olas y reducir el impacto del oleaje a la estructura. Dicho crecimiento biogénico, que con el tiempo puede cubrir la superficie con una capa cálcica (Fig. 9), también incrementa la durabilidad de la estructura absorbiendo fuerzas hidrodinámicas y protegiendo el hormigón de los ataques de cloruro y el desportillado.

Aunque dicho crecimiento intenso podría alterar las evaluaciones visuales del estado de las infraestructuras, puede conseguirse una inspección raspando secciones del crecimiento de forma aleatoria (típicamente, no más del 10 % de la superficie), que crecerá de nuevo con el tiempo. A la luz de lo anterior, la aplicación de matrices de hormigón ecológicamente activo en CMI puede ayudar a hacerlas más sostenibles, y a largo plazo podría reducir la necesidad y costes del trabajo de mantenimiento.

Aparte de las ventajas estructurales, las matrices de hormigón ecológicamente activas también están asociadas con beneficios ambientales sustanciales. Como es evidente a partir de los resultados, las matrices que han demostrado ser ecológicamente activas tenían significativamente mayor cobertura viva que el cemento Portland convencional (la cobertura promedio de losetas M1, M4 y M5 era de casi el 100 % en ambas estaciones 12 meses después del despliegue, mientras que las losetas Portland tenían un promedio del 82 % - 92 %). Una gran parte de la cobertura viva consistía en ingenieros ecosistémicos que contribuyen al crecimiento biogénico (ostras, corales, percebes y gusanos serpúlidos) por un lado, y organismos que se alimentan por filtración que pueden elevar la calidad del agua y la transparencia por el otro (por ejemplo, tunicados, esponjas, ostras y mejillones). Además, como es evidente a partir de los experimentos de colonización tanto *in situ* como *in vitro*, los corales y otros organismos intertidales típicos tales como *B. neritina* mostraron una clara preferencia por matrices ecológicamente activas, predominantemente M1 y M5. Crear CMI con capacidad potenciada de incorporar corales y especies que proporcionan servicios valiosos al ecosistema tales como organismos que se alimentan por filtrado y constructores biogénicos es de gran importancia ecológica. Potenciando la productividad biológica y el valor ecológico de los CMI, puede reducirse su huella ecológica y utilizarse como zonas de naturaleza urbana, en lugar de verlas como "desiertos industriales urbanizados" escarificadas.

Otra ventaja ambiental de algunas de las matrices de hormigón innovadoras ensayadas es la reducida huella de carbono. Como las matrices incluyen diversos aditivos que pueden reducir significativamente la cantidad de cemento Portland en la mezcla, que es conocido por su alta huella de carbono (Matthews y col., 2008), dichas matrices pueden considerarse más ecológicas. Por ejemplo, M2 y M3 no funcionan muy diferentemente del cemento Portland convencional en el mismo tramo de tiempo dado, aunque como tienen una huella de carbono reducida, aún pueden considerarse más ecológicas que las mezclas de hormigón convencional. No obstante, evaluar la huella de carbono de las diversas matrices de hormigón no era el alcance de la presente investigación y requiere investigación adicional.

Finalmente, como las CMI son una parte integral de los litorales en todo el planeta, sus implicaciones socioeconómicas no pueden ignorarse. Actualmente, cuando la conciencia medioambiental está en constante aumento, las agencias ambientales están solicitando una compensación ecológica (Puig y Villarroya, 2013) y

políticas de mitigación. Las tecnologías sostenibles de construcción marina "verde-azul" pueden proporcionar una herramienta eficaz para los gestores y tomadores de decisiones, reduciendo la huella ambiental de las CMI. Además de esto, integrar texturas complejas y diseños en CMI, que promueven grupos marinos naturales, también promueven cualidades estéticas potenciadas que crear zonas urbanas de naturaleza marina, capaces de elevar la sensibilización ambiental entre las comunidades costeras.

Sumario

Ligeras modificaciones a las CMI basadas en hormigón, teniendo en cuenta la composición del hormigón, la textura superficial y el macro-diseño, tienen el potencial de elevar su capacidad de dar soporte a especies constructoras formadoras de crecimiento biogénico, así como grupos de organismos asociados que se alimentan por filtrado. El resultado es un grupo béntico único que proporciona servicios potenciados al ecosistema, junto con ventajas económicas tales como calidad elevada del agua, vida útil operativa aumentada, estabilidad estructural y absorción de fuerzas hidrodinámicas. Estas ventajas son de gran importancia en CMI que deben hacer frente a entornos agresivos de agua salina.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una infraestructura marina que comprende una matriz de hormigón, comprendiendo la matriz de hormigón al menos un tipo de cemento, al menos un agregado, arena de calidad fina de menos de 4,75 mm y/o agregados naturales o triturados de menos de 0-2 mm y agua potable que no contiene más de 1000 partes por millón de cloruro o sulfatos y carece de plomo, cobre, zinc (<5 ppm) o fosfato (<5 ppm), teniendo la matriz de hormigón un pH de menos de 12 para su uso en la promoción del crecimiento de fauna y flora en entorno acuático, en la que dicha matriz de hormigón tiene una resistencia promedio a la compresión entre 30 a 80 MPa, una profundidad de penetración de agua bajo 700 kPa (7 bar) entre 5 a 50 µm y una resistencia a la penetración de cloruro entre 500 y 2000 culombios.
- 10 2. Una infraestructura marina de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho pH es inferior a 11.
3. Una infraestructura marina de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en la que dicho pH es entre 9 a 10,5.
4. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicho pH de dicha matriz de hormigón es el pH de la superficie superior de dicha infraestructura.
- 15 5. Una infraestructura marina de acuerdo con la reivindicación 4, en la que el grosor de dicha superficie es de 5 cm o mayor.
6. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la salinidad del entorno acuático es de entre 0 a 45 ppm.
7. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha infraestructura tiene una rugosidad superficial que tiene un grado de rugosidad de al menos 17.
- 20 8. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha infraestructura tiene una rugosidad superficial con un valor RA de al menos 50 micrómetros y una textura superficial con un valor RA de 5-20 mm.
9. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha matriz de hormigón tiene un peso por volumen entre 1100 a 2500 kg/m³.
- 25 10. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha matriz de hormigón tiene un peso por volumen entre 1100 a 1800 kg/m³.
11. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha matriz de hormigón comprende entre el 0 al 90 % de cemento Portland.
- 30 12. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha matriz de hormigón comprende al menos uno de entre cementos de microsílíce/humo de sílice y metacaolín y/o aluminato cálcico.
13. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la fauna y la flora marina se selecciona de especies constructoras y formadoras de hábitats y de corales y organismos que se alimentan por filtrado.
- 35 14. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha potenciación de la fauna y de la flora marina proporciona y facilita la deposición de materia inorgánica sobre la superficie de dicha estructura que puede alcanzar valores entre 50 a 1000 g/m² después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 0-10 m.
- 40 15. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha promoción del crecimiento de la fauna y de la flora marina proporciona concentraciones de clorofila sobre la superficie de dicha estructura que pueden alcanzar valores entre 100 a 800 µg/m² después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 0-10 m.
- 45 16. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha promoción del crecimiento de la fauna y de la flora marina proporciona nuevas adhesiones de coral sobre la superficie de dicha estructura que está entre 5 a 25 nuevas adhesiones por un área superficial de 15 x 15 después de 12 meses a un intervalo de profundidad de 0-10 m.
17. Una infraestructura marina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha potenciación de la fauna y de la flora marina proporciona tasas de colonización de coral en condiciones de laboratorio sobre la superficie de dicha estructura entre el 5 al 60 % después de menos de 1 mes.
- 50 18. Un procedimiento de promoción del crecimiento de fauna y de flora en entorno acuático que comprende proporcionar una infraestructura de construcción marina de acuerdo con la reivindicación 1.

19. Un procedimiento de promoción del crecimiento de flora endolítica y epilítica que comprende proporcionar una infraestructura compuesta de matriz de hormigón que tiene un pH superficial de menos de 12.

20. Un procedimiento de promoción del crecimiento de flora y fauna anaerobia y aerobia endolítica y epilítica que comprende proporcionar una infraestructura compuesta de una matriz de hormigón que tiene un pH de menos de 12.

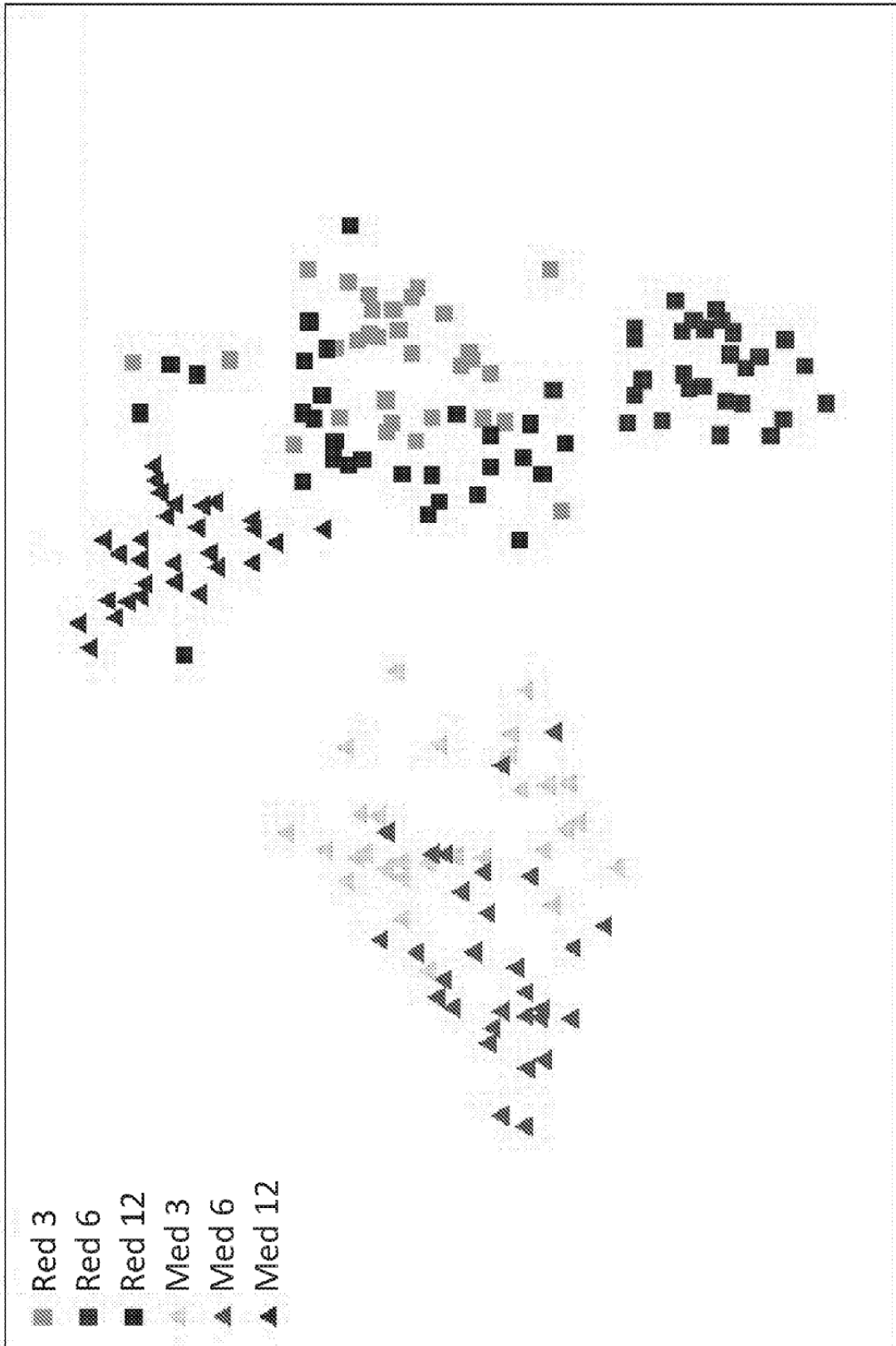


Fig. 1

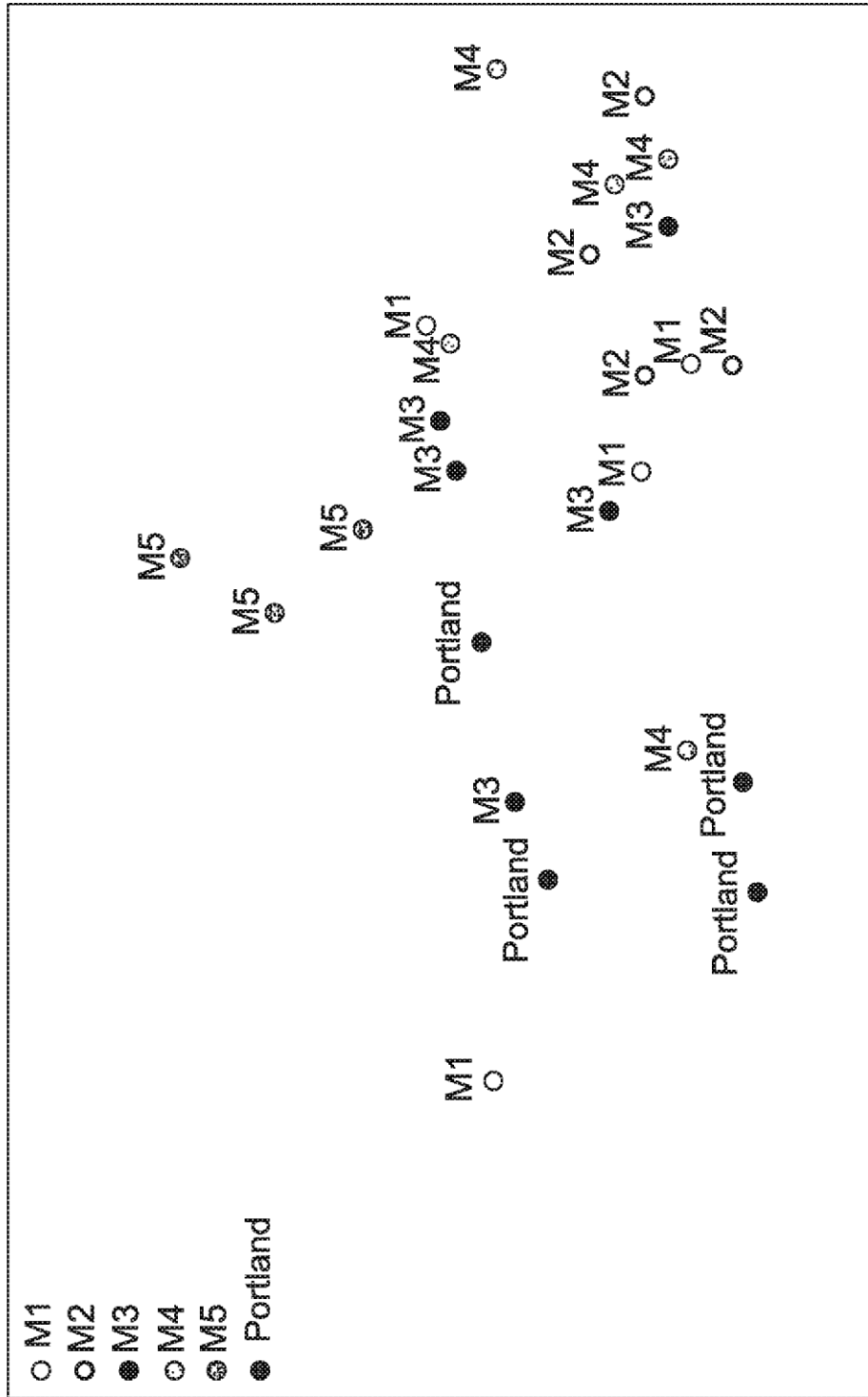


Fig. 2

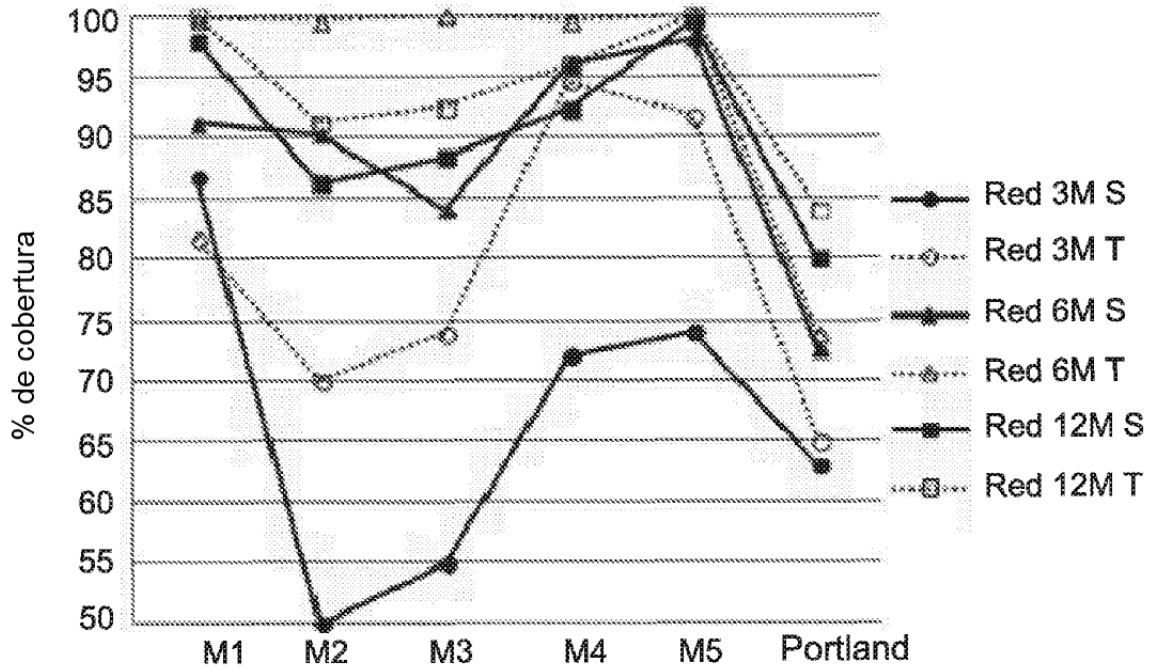


Fig. 3A

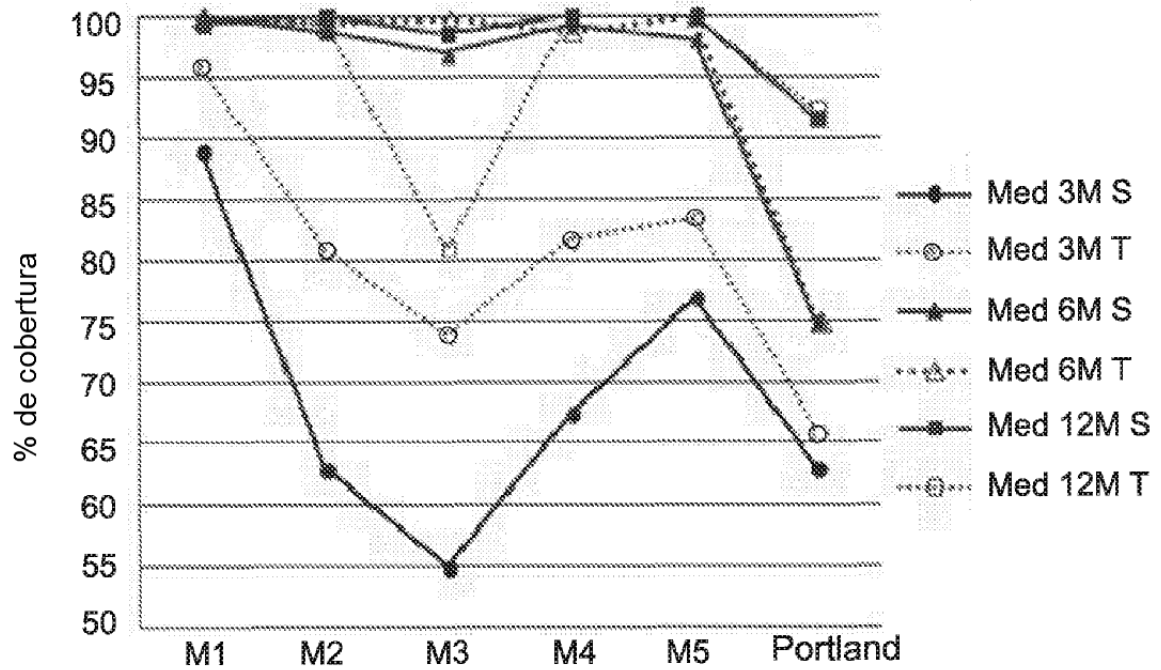


Fig. 3B



Fig. 4A

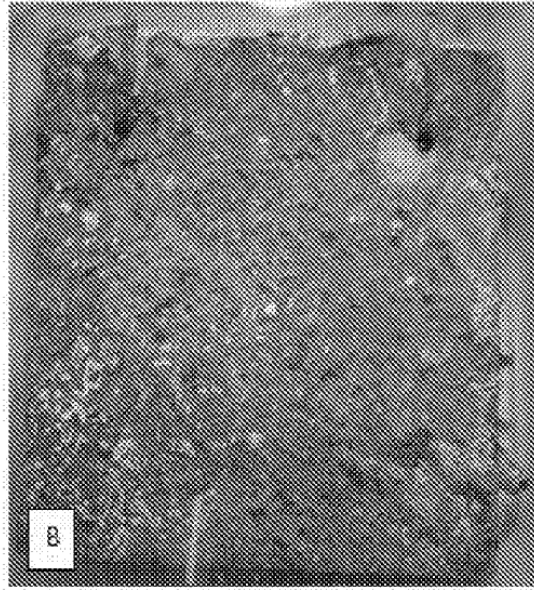


Fig. 4B

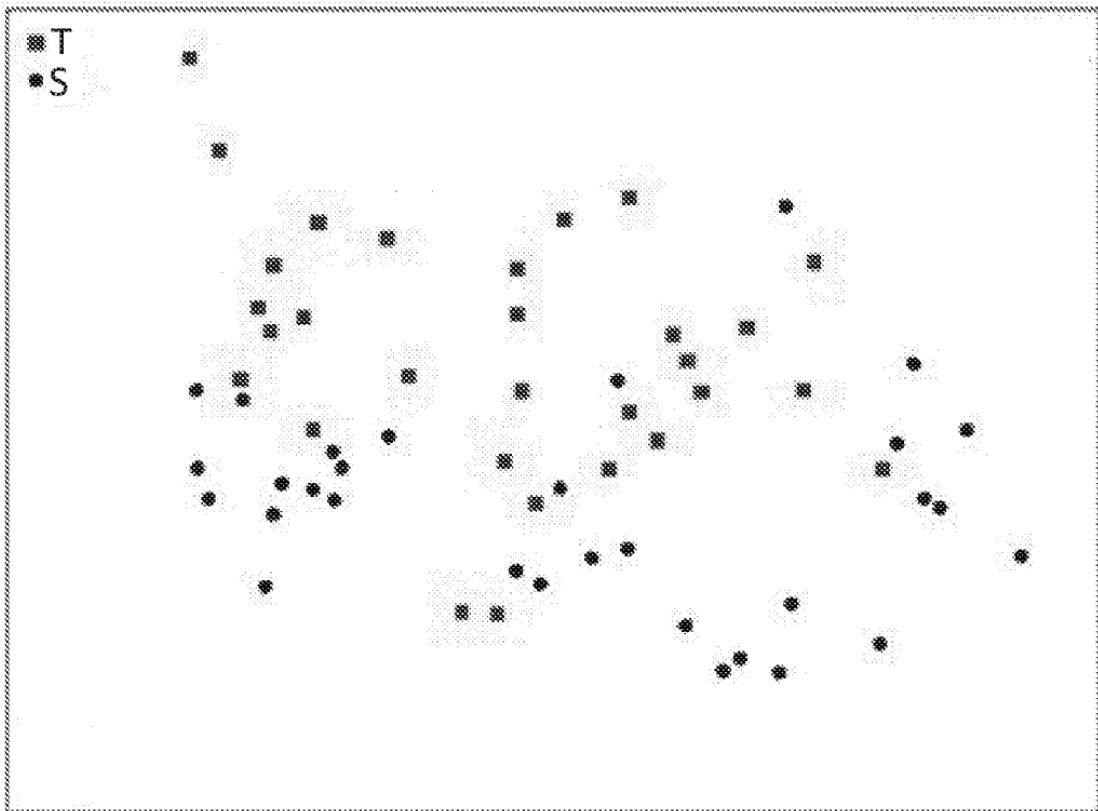


Fig. 4C

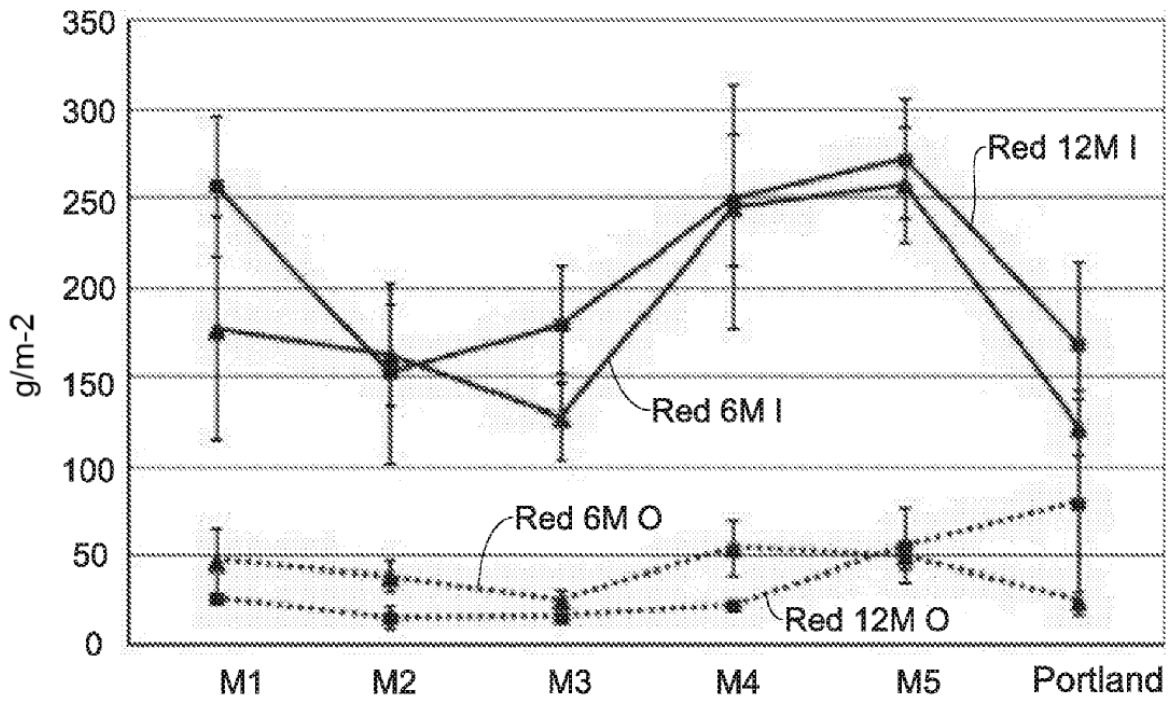


Fig. 5A

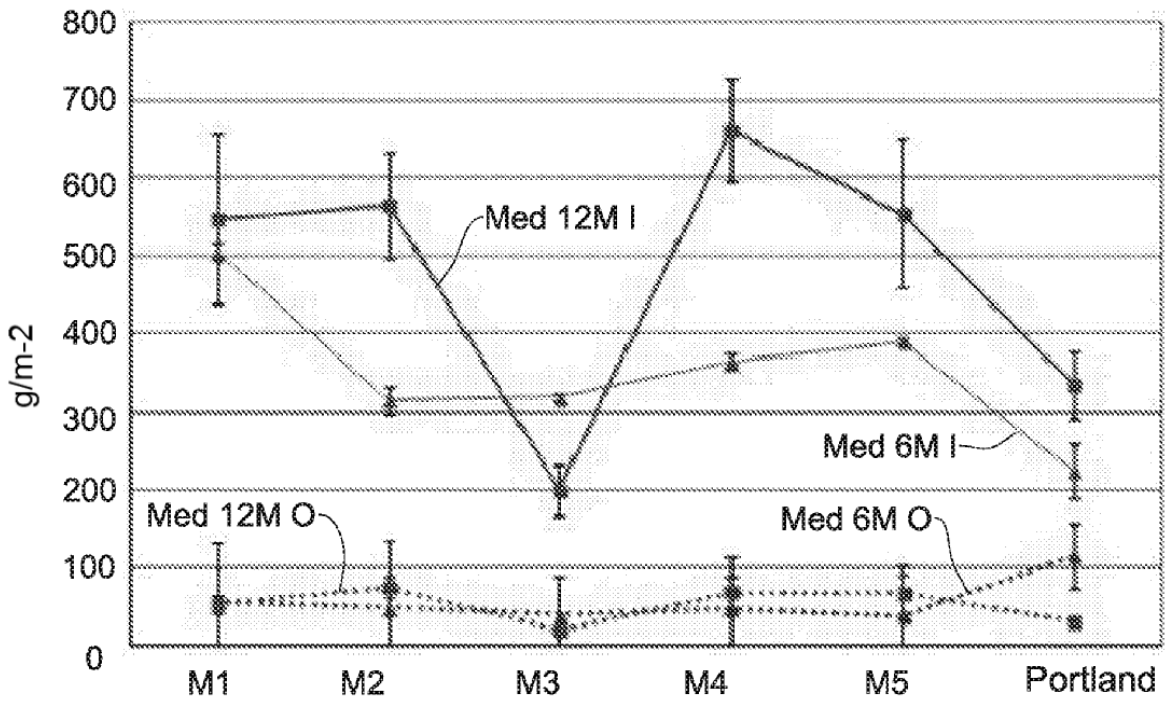


Fig. 5B

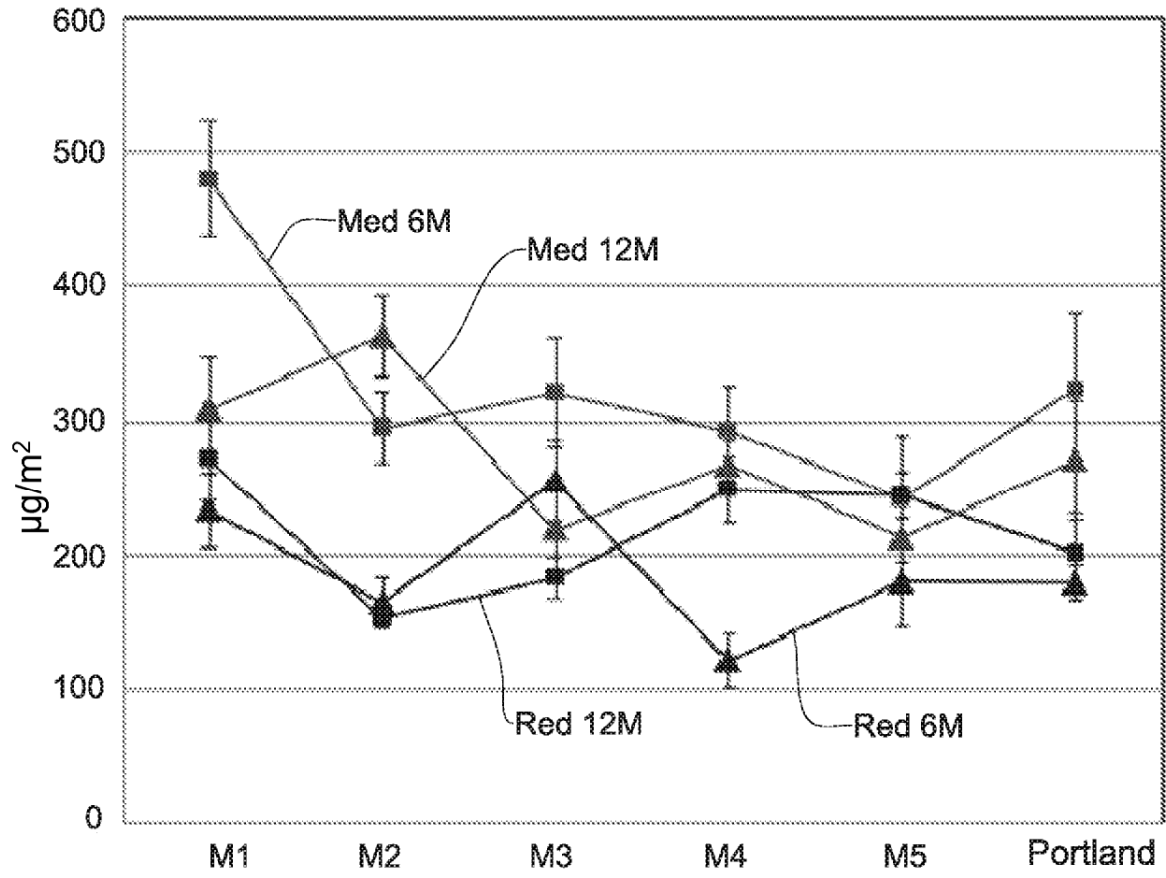


Fig. 6

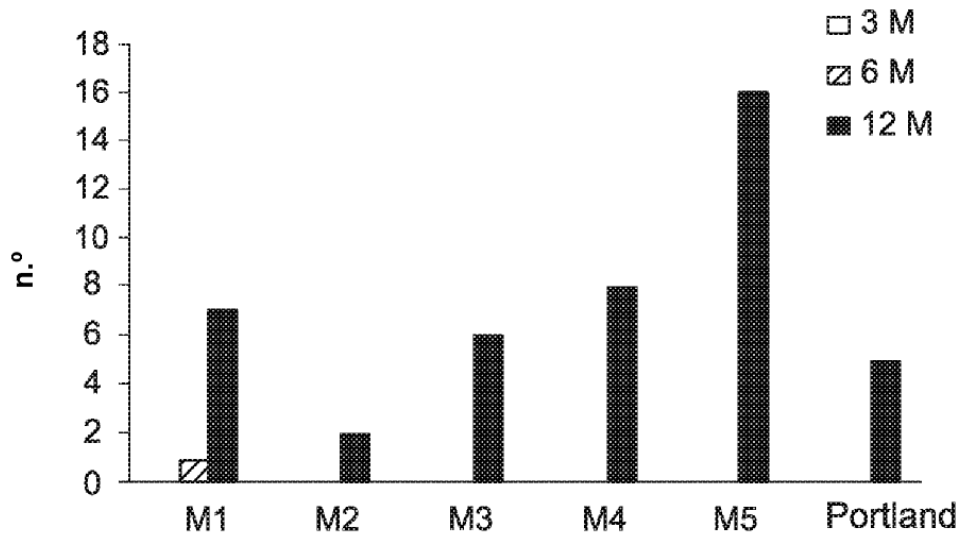


Fig. 7A

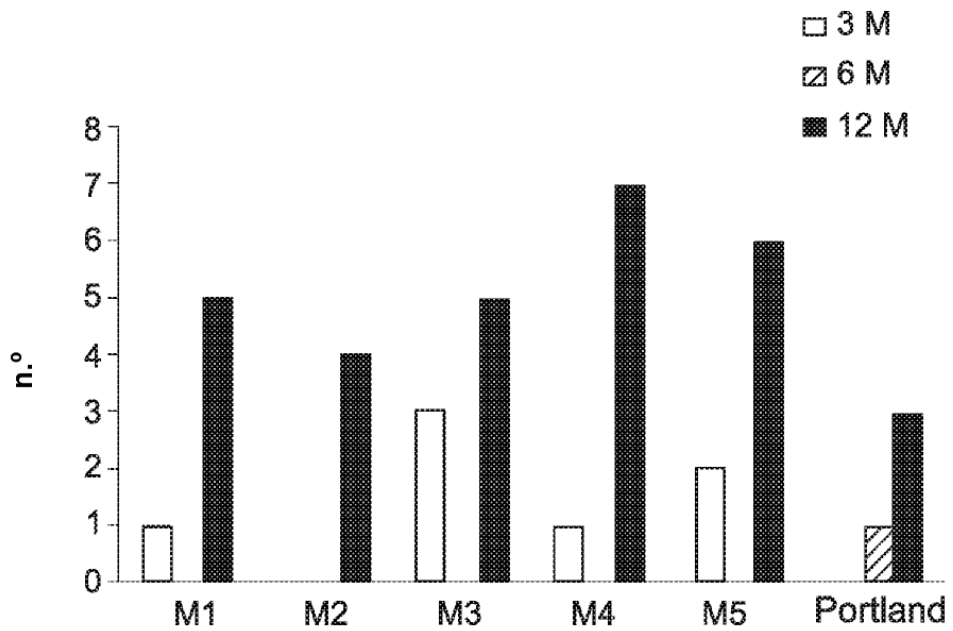


Fig. 7B

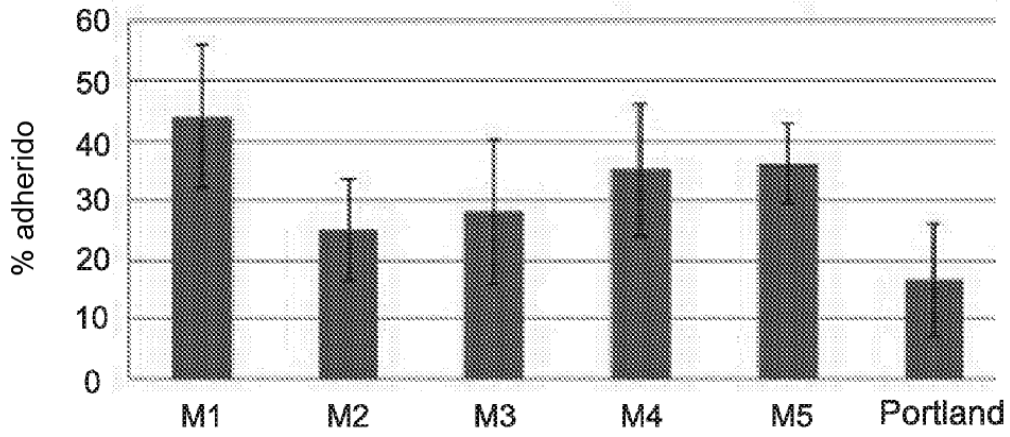


Fig. 8A

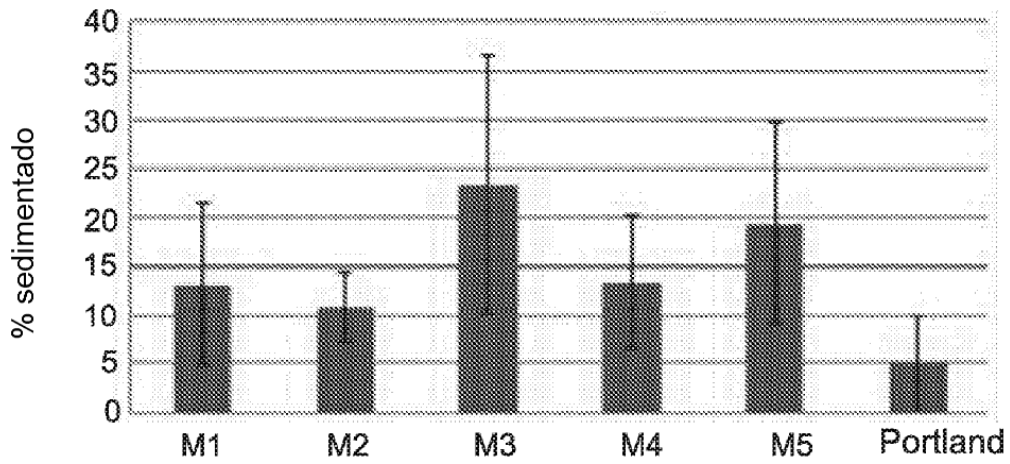


Fig. 8B

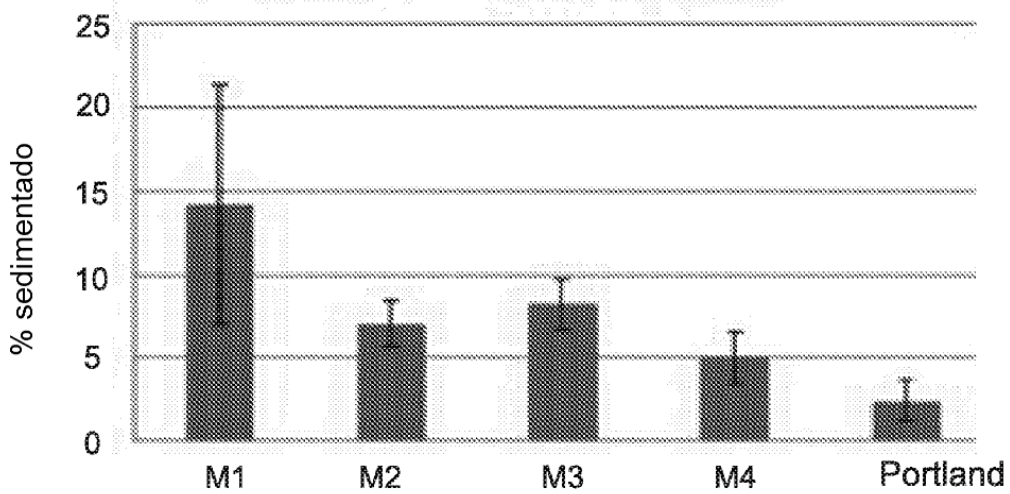


Fig. 8C



Fig. 9