



Proyecto:

Gestión integral de los recursos marino-costeros en el Distrito de Paquera – Tambor, Golfo de Nicoya, Costa Rica como mecanismo para reducir la vulnerabilidad e incrementar la capacidad de adaptación al Cambio Climático.



INFORME TÉCNICO INTEGRAL

Componente: Monitoreo de Arrecifes Artificiales

Guía para la Planificación e Instalación de Arrecifes Artificiales en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor

San José, Septiembre de 2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. MÉTODOS.....	4
4. RESULTADOS.....	4
5. BIBLIOGRAFÍA.....	5
6. ANEXO 1.....	9

1. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes artificiales son estructuras tridimensionales que el ser humano coloca deliberadamente en el fondo del mar, utilizando materiales firmes o rígidos, con el fin de recrear condiciones similares a las de un arrecife natural (Callaway, 2018). Generalmente los arrecifes artificiales se crean con un objetivo en mente, que puede incluir crear una zona protección y restauración de hábitats marinos y costeros, recreación (por ejemplo creación de zonas de rompientes para practicar surf), y para la protección, regeneración, concentración y/o incremento de la producción en cuanto a recursos pesqueros (Commission, 1999, 2009). Existen una gran variedad de técnicas y materiales para construir arrecifes artificiales, las cuales pueden ser utilizadas dependiendo del objetivo de creación del arrecife artificial.

El Golfo de Nicoya e el Pacífico de Costa Rica mantiene cerca del 90% de las capturas pesqueras del país, sin embargo, debido a múltiples factores (como por ejemplo destrucción de hábitats costeros y de crianza como el manglar, contaminación, y sobrepesca) se ha generado una degradación del sistema (Wolff, Koch, Chavarría, & Vargas, 1998). Las comunidades de los distritos de Paquera y Tambor impulsaron la creación del Área Marina de Pesca Responsable Paquera – Tambor (AMPR Paquera – Tambor), cuyo objetivo principal es contribuir a la sostenibilidad de los recursos marinos y pesqueros en la zona del Golfo de Nicoya. El Plan de Ordenamiento Pesquero (POP) del AMPR Paquera – Tambor incluye, entre otros, la implementación de subprogramas de manejo y conocimiento, los cuales incluyen seleccionar áreas que presenten condiciones adecuadas para el establecimiento de arrecifes artificiales, así como definir diseños y materiales para instalar arrecifes artificiales que sean adecuados para la zona del AMPR, entre otras cosas. Por este motivo se llevó a cabo un estudio bibliográfico para recolectar información sobre recomendaciones de planificación e instalación de arrecifes artificiales a nivel internacional, con el fin de brindarle al Comité de Gobernanza del AMPR Paquera – Tambor, una herramienta que facilite la tarea de planificar y construir un arrecife artificial, procurando las prácticas adecuadas y responsables con los usuarios y el ambiente.

2. OBJETIVOS

- Brindar herramientas para el planeamiento e instalación de arrecifes artificiales en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera – Tambor.
- Facilitar herramientas para la evaluación ecológica de los arrecifes artificiales del Área Marina de Pesca Responsable Paquera – Tambor.

3. MÉTODOS

Con el fin de facilitar a los usuarios el seguimiento de las etapas que se deben desarrollar en un posible proceso de instalación de un arrecife artificial, se elaboró una guía que toma en cuenta un marco técnico desarrollado por organizaciones internacionales (Commission, 1999, 2009), artículos científicos (Callaway, 2018; Rosemond, Paxton, Lemoine, Fegley, & Peterson, 2018; Walles et al., 2016) y basándose en un trabajo previo del biólogo Fabián Sánchez.

4. RESULTADOS

Este proyecto facilitó al AMPR Paquera – Tambor un documento técnico que ofrece herramientas para planificar e instalar AA dentro del AMPR Paquera – Tambor. Se ofrecen criterios para la selección de materiales, y cómo colocarlos en el fondo marino. Así mismo, se subraya la necesidad de tener en consideración el objetivo de los AA, con el fin de llevar a cabo una planificación y ejecución adecuada del proyecto. La guía de planificación e instalación de arrecifes se adjunta como el **Anexo 1** de este documento

5. BIBLIOGRAFÍA

- Callaway, R. (2018). Interstitial space and trapped sediment drive benthic communities in artificial shell and rock reefs. *Frontiers in Marine Science*, 5, 288.
- Commission, O. (1999). OSPAR guidelines on artificial reefs in relation to living marine resources. In *OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. (Reference Number: 1999-13). ANNEX (Vol. 6)*.
- Commission, O. (2009). Assessment of construction or placement of artificial reefs. *London. Biodiversity Series, Publ*, (438), 27.
- Rosemond, R. C., Paxton, A. B., Lemoine, H. R., Fegley, S. R., & Peterson, C. H. (2018). Fish use of reef structures and adjacent sand flats: implications for selecting minimum buffer zones between new artificial reefs and existing reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 587, 187–199.
- Walles, B., Troost, K., van den Ende, D., Nieuwhof, S., Smaal, A. C., & Ysebaert, T. (2016). From artificial structures to self-sustaining oyster reefs. *Journal of Sea Research*, 108, 1–9.
- Wolff, M., Koch, V., Chavarría, J. B., & Vargas, J. A. (1998). A trophic flow model of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 46(Suppl. 6), 63–79. <http://doi.org/10.15517/RBT.V46I6.29645>

6. ANEXO 1

**GUÍA PARA LA PLANIFICACIÓN E
INSTALACIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES
EN EL ÁREA MARINA DE PESCA RESPONSABLE
PAQUERA – TAMBOR
PUNTARENAS, COSTA RICA**

Fabián Sánchez y Juan Azofeifa

San José

Junio de 2018

1. TABLA ABREVIATURAS / ACRÓNIMOS

AA: Arrecifes Artificiales.

ABUZPA: Asociación de Buzos de Paquera.

AMP: Áreas Marinas Protegidas.

AMPR: Áreas Marinas de Pesca Responsable.

AMUM: Área Marina de Uso Múltiple.

CEDARENA; Centro de Derecho Ambiental de los Recursos Naturales.

CPUE: Capacidad por Unidad de Esfuerzo.

EARRN: European Artificial Reef Research Network (Red de investigación de Arrecifes Artificiales de Europa).

EUA: Estados Unidos de América.

ICT: Instituto Costarricense de Turismo.

INCOPECA: Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.

INA: Instituto Nacional de Aprendizaje.

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

MSP: Ministerio de Seguridad Pública.

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

ONG: Organización No Gubernamental.

SNG: Servicio Nacional de Guardacostas.

2. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como propósito contribuir al marco normativo y al ordenamiento de la construcción e instalación de Arrecifes Artificiales (AA) en el Área Marina de Pesca Responsable (AMPR) Paquera – Tambor, Puntarenas, Costa Rica. En Costa Rica los AA se han construido desde el año 1983, muchos de los cuales han sido instalados en el AMPR Paquera – Tambor, con el fin de crear ecosistemas que sirvan para reclutar diversas formas de vida marina con interés comercial y recreativo, y a partir de estas realizar evaluaciones científicas o aprovechar la biomasa pesquera desarrollada. Si bien no es un tema ajeno en el país, a la fecha no existe ninguna evaluación o censo oficial sobre el número de AA que se hayan instalado en estos 30 años. Además de esto, se ignora en su gran mayoría la ubicación, el tamaño y los materiales que fueron utilizados.

Este documento se presenta como una Guía Técnica en la cual se un marco técnico con el fin de orientar a los usuarios sobre los aspectos fundamentales que se deben considerar al momento de proponer la construcción y/o instalación de un AA en el AMPR Paquera - Tambor. Lo anterior incluye entre otros aspectos, elementos relacionados con la clasificación de las estructuras de AA, los materiales recomendados para su construcción, aspectos de diseño, criterios para su ubicación e instalación

3. OBJETIVOS DE LA GUÍA

3.1 *General*

- Proveer al Área Marina de Pesca Responsable Paquera – Tambor de un instrumento normativo de carácter técnico que oriente a las partes involucradas en procesos de planificación e instalación de Arrecifes Artificiales.

3.2 *Específicos*

- Definir los aspectos técnico-normativos a implementar en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera - Tambor para todo proyecto de construcción e instalación de Arrecifes Artificiales.
- Establecer medidas de control ambiental que prevean y mitiguen los impactos negativos significativos, compensen los impactos irremediables o con efectos residuales y potencien los impactos ambientales positivos de los Arrecifes Artificiales a través del ordenamiento técnico y normativo de su planificación e instalación.

4. ESTRUCTURA DE ESTA GUÍA

Con el fin de facilitar a los usuarios el seguimiento de las etapas que se deben desarrollar en todo proceso de instalación de un arrecife artificial, la presente guía desarrolla dos componentes básicos. En primer lugar, a manera de marco técnico, brinda información básica sobre los diferentes elementos que se deben tener en cuenta antes, durante y luego de la ejecución de un proyecto de este tipo. Entre estos se mencionan aspectos relacionados con los objetivos del proyecto, la selección del tipo de arrecife a construir según su finalidad y la clasificación definida, los materiales que se recomienda utilizar, las variables a tener en cuenta para su ubicación y aspectos relacionados con el manejo del arrecife. Sumado a esto, la guía aborda temas relacionados con el monitoreo del arrecife, como punto de partida para establecer y medir el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos. En segundo lugar, la guía presenta las etapas y describe los formatos que se deben diligenciar por parte de los usuarios cuando exista el interés de construir un arrecife artificial en el AMPR Paquera – Tambor.

5. DEFINICIÓN DE ARRECIFE ARTIFICIAL

Si bien existe un gran número de definiciones aplicadas a la instalación de estructuras artificiales en el fondo marino, en la presente guía se adopta como definición la siguiente:

“Un arrecife artificial es cualquier estructura, artificial o natural, instalada, depositada o arrojada sobre el fondo marino, la superficie marina o en la columna de agua, la cual tiene como propósito crear un sistema de reclutamiento de vida marina, la crianza de especies con interés comercial, formación de barreras de protección de línea de costa, fondeo de embarcaciones o estructuras flotantes, plataformas mineras o explotación de hidrocarburos, muelles y atracaderos.”

6. OBJETIVOS DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL

Como fundamento para la instalación de un arrecife artificial generalmente se contemplan los siguientes tipos de objetivos:

- a) Pesca: Arrecifes artificiales que tienen como fin mejorar la biomasa pesquera en una área determinada para beneficio directo o indirecto de los usuarios.
- b) Recreación: Arrecifes artificiales que tienen como fin fomentar actividades relacionadas al turismo, como por ejemplo el buceo de aventura, buceo profesional, Surf (deslizarse sobre las olas en tabla de fibra, madera, plástico o poliestireno) Snorkel o buceo a pulmón, fotografía submarina, entre otros.
- c) Protección de línea de costa: Arrecifes artificiales que tienen como fin proteger sitios de importancia para el ser humano (playas, ciudades costeras, atracaderos, muelles, etc.); instalados para prevenir y mitigar el impacto de fenómenos naturales significativos o de la misma acción del mar y los impactos negativos que se podrían producir por la energía de las olas, corrientes y mareas.
- d) Educación e investigación: Aquellas estructuras artificiales que tienen como objetivo directo o indirecto la investigación o bien el desarrollo de actividades relacionadas con la educación formal.

En ocasiones también se construyen AA como producto secundario de otras actividades, como construcción de estructuras u obras civiles-navales, barreras de protección, soporte o seguridad para embarcaciones, muelles y marinas. En estos casos, los AA no contemplan un objetivo para su elaboración, y son más bien un resultado paralelo.

7. CLASIFICACIÓN DE LOS ARRECIFES ARTIFICIALES

7.1 Según el tipo de estructura

Con el fin de facilitar el ordenamiento y optimizar el uso de arrecifes artificiales según los objetivos para lo que fueron instalados, se desarrolló una clasificación para el AMPR Paquera – Tambor a partir del tamaño y la ubicación espacial de la estructuras.

- UNIDAD. Es el elemento básico en todo arrecife artificial, puede estar constituido por piezas sencillas como un block o una gran estructura como un barco¹ o algún objeto articulado.
- MODULO ARRECIFAL. Es el resultado de agrupar diferentes unidades por algún método que impida su separación.
- GRUPO ARRECIFAL. Corresponde al tamaño mínimo que es capaz de sostener una producción estable por ella misma, esta unidad suele ser un grupo de módulos interactuando entre ellos unidos o separados por cortas distancias y funcionando como un sistema.
- COMPLEJO ARRECIFAL. Comprende varios grupos de arrecifes localizados en un área específica pero funcionando independientemente. El complejo arrecifal puede tener una escala local y/o regional.

En la figura 1, se presenta un ejemplo de una zona arrecifal y las partes que la conforman. Desde el punto de vista técnico, la instalación de un AA debe contemplar, y tener muy clara, su finalidad ya que dependiendo de su clasificación puede alcanzar o no los objetivos para lo cual fue instalado. Por ejemplo, un arrecife artificial de producción en ocasiones, al instalarse en zonas abiertas alejadas de fondos rocosos naturales, debe llevar asociadas estructuras (i.e unidades o módulos) arrecifales de protección debido a su vulnerabilidad una vez se haya inducido la recuperación de la biomasa pesquera.

Un elemento importante a considerar en la instalación de un complejo arrecifal es la distancia entre las estructuras, ya que siempre se debe propiciar que haya un intercambio de las poblaciones de peces u otros organismos (i.e. langostas). Nakamura (1985) menciona que para peces de fondo, la máxima distancia entre complejos arrecifales debe de ser de 200 m y para peces de la columna de agua debe de ser de 300 m.

¹ En el caso de barcos o de estructuras solitarias la unidad es igual al arrecife.

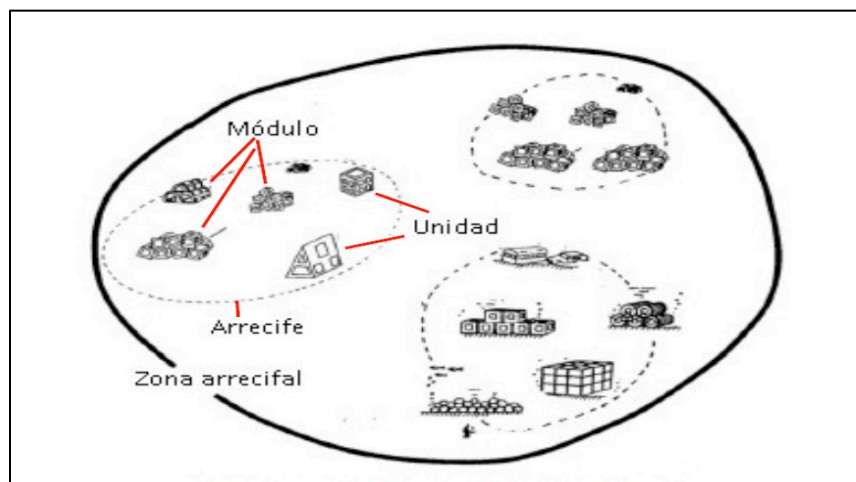


Figura 1. Ejemplo de la nomenclatura de arrecifes artificiales, en donde se muestran la unidad, el módulo el arrecife y la zona arrecifal. Adaptado de Ministerio de Ambiente. Gobierno de España, 2008.

El tamaño de los módulos, grupos y complejos arrecifales debe definirse según el objetivo del AA, las características del fondo (granulometría), el comportamiento de las corrientes, las características del material base a utilizar y el tipo de organismos que se desean agregar principalmente (para peces que habitan dentro de tubos o agujeros dentro del arrecife, el tamaño bruto del arrecife debe de ser al menos de 400 m³). Es muy importante reconocer que nunca se debe colocar un AA en la ruta de especies migratorias para atraerlas hacia las estructuras.

7.2 Según su uso o finalidad:

También es posible clasificar los AA según la finalidad para los que fueron creados:

- **ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTECCIÓN COSTERA:** Son AA cuya finalidad principal es reducir la fuerza del oleaje que impacta una determinada sección de costa. Los bloques de concreto o de hormigón son la materia prima más utilizada en Costa Rica en lo referente a este tipo de arrecife. En otras latitudes se colocan desde estructuras específicamente diseñadas (Japón), las bolas de arrecife (conocidas como “Reef Balls” en EUA), hasta la creación de toda una barrera con materiales similares a los utilizados para construir rompeolas de marinas y muelles.

- **ARRECIFES ARTIFICIALES PARA TURISMO Y RECREACIÓN:** Son AA que se utilizan para generar espacios marinos que permitan la práctica de distintas actividades recreativas como el Surf, el buceo con equipo autónomo o buceo a pulmón, mediante la instalación de estructuras que pueden modificar la dinámica de corrientes y oleaje. A Diferencia de los AA para protección costera, las estructuras en este caso deben ser construidas con patrones de geomorfología e hidrodinámica específicos y con materiales que no impliquen un riesgo para los usuarios por su forma, estructura o emanación de sustancias contaminantes.
- **ARRECIFES ARTIFICIALES PARA ZONAS DE FONDEO Y PROTECCIÓN:** Son AA que se construyen con el fin de generar zonas con reducida energía del oleaje o libres de esta, con el fin de proteger estructuras civiles-navales como tales como muelles, jaulas de acuicultura, emisarios submarinos o pequeños puertos.
- **ARRECIFES ARTIFICIALES CON FINES DE PESCA (COMERCIAL, RECREATIVA Y TURÍSTICA):** Son AA que se construyen con el principal objetivo de mejorar el potencial pesquero de un área determinada. Dentro de esta clasificación es posible desarrollar dos tipos de AA: de protección y de producción. Los arrecifes de protección hacen referencia a estructuras que se instalan a una distancia determinada de la costa las cuales tienen como fin prevenir el ingreso de barcos de arrastre a sitios destinados para pesca responsable. Los AA de producción tienen como fin incrementar la biomasa de los recursos pesqueros en una localidad específica. En teoría se busca que este tipo de AA mejoren la productividad pesquera a través de un aumento en el reclutamiento, supervivencia, crecimiento y reproducción de especies marinas. Sin embargo, en múltiples casos también se ha observado que este tipo de estructuras funcionan como simplemente “atraymentes” de peces, sustrayendo biomasa de las áreas naturales cercanas. Las estructuras de los AA de producción pueden ser muy variadas, cuyo diseño y material dependerá de las características del sitio, el o los recursos disponibles para su construcción y de la/s especie/s objetivo del AA.
- **ARRECIFES ARTIFICIALES DE FILTRO:** Son AA que se utilizan ampliamente en proyectos de acuicultura, donde por lo general los excesos de materia orgánica generan condiciones de anoxia. Los AA de filtro facilitan la descomposición aeróbica de esta materia orgánica.

- **ARRECIFES ARTIFICIALES PARA MARICULTURA:** Son AA cuyo objetivo es proveer un sustrato de cultivo para organismos marinos que se cultivan, como por ejemplo algas y moluscos. La forma de estos arrecifes está ligada a las especies meta. Los arrecifes de filtro pueden cumplir esta función, por lo cual es un buen método para combinar dos técnicas y optimizar los beneficios.
- **ARRECIFES ARTIFICIALES CON FINES DE RESTAURACIÓN:** Son AA destinados a mejorar la condición de un sistema ecológico marino (incrementar productividad, recuperar zonas degradadas o inducir cambios, entre otros). Se excluye de este tipo de arrecifes cualquier objetivo relacionado con la pesca o explotación de los recursos ahí presentes. Estos arrecifes también pueden ser utilizados para fines de educación e investigación científica.

8. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES

En la década de los 80's la mayoría de AA en países como EUA fueron construidos con materiales de desecho, razón por la cual casi cualquier tipo de material de descarte fue utilizado para este fin. Desde llantas de automóviles, neumáticos de maquinaria industrial, tubos, rocas, conchas, plataformas, barcos y automóviles, entre otros (Langhamer y Wilhelmsson, 2009).

El tipo de material que se utiliza para construir un AA también es un factor determinante según el objetivo para el cual se instala un AA. De igual forma factores relacionados con su grado de inocuidad, el costo inicial de fabricación o preparación, costo de transporte y la durabilidad deben tomarse en cuenta.

Los criterios de selección de materiales deben de cumplir con varios requisitos, entre ellos:

- **FUNCIONALIDAD:** Se define según el objetivo del AA, si es para atraer biota, debe de tenerse en cuenta la acidez de la superficie, así mismo las superficies lisas dificultan la colonización por epibiota.
- **COMPATIBILIDAD:** Los materiales deben de minimizar los riesgos de impacto al ambiente y deben de contribuir a cumplir con los objetivos del AA. Por ejemplo, si el AA se utilizará para actividades de submarinismo, los materiales deben ser atractivos y nunca deben de presentar riesgos para la seguridad de los buzos. Por otro lado, si el objetivo es proteger caladeros de pesca, los materiales y la estructura general del AA deben ser capaces de soportar el impacto de redes de arrastre. Si el objetivo del AA es mejorar la productividad biológica del sitio, incrementando el reclutamiento de peces, corales u otros invertebrados, deben utilizarse materiales que favorezcan el reclutamiento de estas especies, y que no liberen sustancias perjudiciales para la vida marina.
- **ESTABILIDAD:** Los materiales de las unidades, así como los que los mantienen sujetos entre sí y al sustrato, deben de ser estables frente al impacto del oleaje, corrientes y tormentas. Bajo ninguna circunstancia se debe permitir que las unidades se rompan y / o

dispersen por el fondo marino. De lo contrario, se puede perder la tridimensionalidad del AA y la función para la que fue creado.

- LONGEVIDAD: Es importante que el AA perdure en el tiempo hasta que cumpla la función para la cual fue instalado.

Ciertos estándares que se buscan además de los mencionados son: durabilidad y estabilidad por más de 30 años en el mar, que soporten la manipulación al momento del transporte y de colocación, resistente a los movimientos que los puedan enterrar, no tóxicos, funcionalidad biológica (buenos para atraer peces, o que se asiente la epibiota), y factores económicos.

Como parte del ordenamiento de este tipo de proyectos, es importante especificar el tipo de materiales que se recomienda utilizar como materia prima para la construcción de AA en el AMPR Paquera - Tambor. Para esto, los materiales se presentan en función de dos tipos, (i) Estructuras diseñadas específicamente para ser utilizadas en AA y (ii) Estructuras no diseñadas para ser utilizadas en AA.

8.1 Estructuras diseñadas específicamente para ser utilizadas en arrecifes artificiales

En este grupo el principal material utilizado es el hormigón o concreto. La composición del concreto es similar a la utilizada en proyectos de infraestructura, siendo el secado total un aspecto determinante para garantizar su durabilidad. Según la finalidad del arrecife, el hormigón adopta una forma específica. Por su composición, ha demostrado ser una materia prima eficiente, durable, estable y compatible con ambientes marinos. Por lo general estas estructuras son de tipo esféricas (tipo reef ball²), cúbicas, cilíndricas o piramidales. De igual forma, el hormigón en ocasiones es utilizado para construir estructuras que integran vigas de acero las cuales se fijan o atraviesan bloques de concreto. Este tipo de AA también pueden ser utilizados para disuadir a embarcaciones pesqueras (como por ejemplo barcos de arrastre) para que no desarrollen faenas de pesca en sitios específicos.

De igual forma, además de sistema de protección, el concreto es utilizado para construir AA con fines de producción. Para esto se recomienda diseñar estructuras con múltiples orificios

² Los reef ball son los módulos artificiales diseñados para crear hábitats submarinos, por lo general se construyen a partir de moldes recuervirtos con materiales como fibra de vidrio (<http://www.reefball.org/>).

y con una superficie corrugada. Los expertos recomiendan la incorporación de tubos de PVC y el diseño de estructuras complejas y de gran superficie. Esto facilita una amplia colonización de organismos lo cual es proporcional a la diversidad que se llega a alcanzar en sistemas de este tipo. En las estructuras de concreto se recomienda desarrollar superficies duras y ásperas en lugar de aquellas que son suaves o resbaladizas. Esto facilita la colonización por parte de organismos epibiontes.

8.2 Estructuras no diseñadas para ser utilizadas en arrecifes artificiales.

- **LLANTAS:** Por su longevidad, resistencia y forma, las llantas han sido utilizadas ampliamente como materia prima para la construcción de rompeolas, paredes de contención de agua en puertos, estuarios y AA (Figura 2) para propósitos pesqueros (Collins *et al.*, 2002). En cuanto a su composición, las llantas se manufacturan a partir de una gran cantidad de componentes químicos, entre ellos polímeros sintéticos (como el butadieno), carbón negro, aceites como agentes de mezcla, productos vulcanizadores como sulfuro, óxido de zinc y peróxidos orgánicos y sustancias aceleradores (como los componentes de thiazole) y retardadores que controlan reacciones químicas del producto. Por esta razón, no se recomienda el uso de llantas como materia prima, ya que implica una evaluación detallada de los posibles impactos negativos. Por lo tanto, es indispensable explorar el uso de otros materiales amigables con el ambiente marino, los cuales pueden generar resultados similares o mejores. Por lo anterior, en el caso de proyectos ya establecidos a partir del uso de llantas como materia prima para la construcción de un AA, el monitoreo de impacto ambiental debe ser enfocado en la composición química del agua a su alrededor, enfermedades en organismos vivos que utilizan estas estructuras en alguna parte de su ciclo de vida, la presencia de organismos indicadores de contaminación ambiental y en especial atención al estado de descomposición de la llanta y los elementos que la componen; esto con el fin de determinar diluciones o liberación significativa de químicos y tóxicos provenientes de las llantas hacia el ambiente marino.

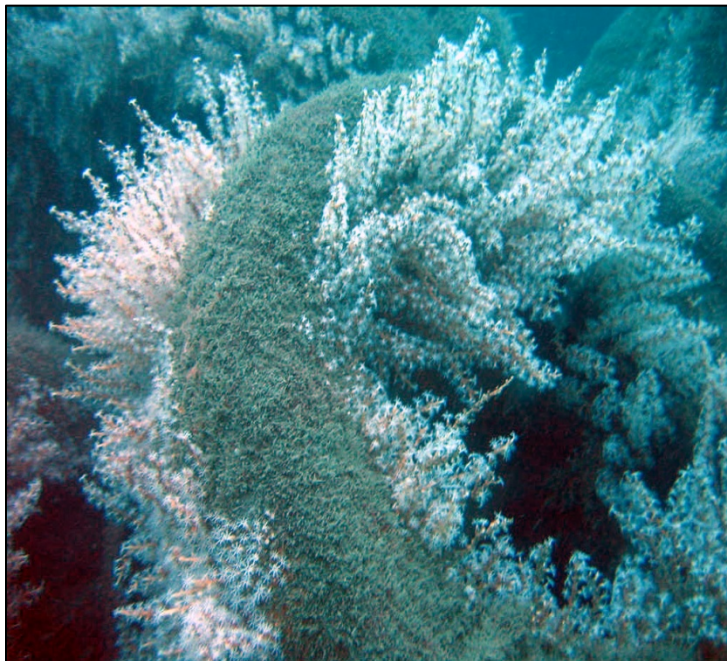


Figura 2. *Llantas de camión (aro 22 o mayor) con crecimiento del octocoral Carijoa rissei. Estas llantas al momento de la foto (2004) tenían 15 años de estar sumergidas, la cobertura del octocoral varía durante el año (Segura, A. 2004). Este tipo de octocorales son indicadores de contaminación y es, además de tapetes de algas y tunicados, de los pocos organismos que utilizan las llantas como sustrato.*

- **EMBARCACIONES DE HIERRO:** Todos los barcos que se utilizan como AA en aguas superficiales experimentan diferentes grados de degradación con el tiempo. Esta variación depende de la aleación de las estructuras metálicas, ya que los barcos están conformados por diferentes tipos de metales y aleaciones. Este tipo de estructuras es uno de los materiales preferidos para construir e instalar AA en el fondo marino. Entre las consideraciones que se deben de tener para el uso de embarcaciones de metal como estructura de AA, está el cuidado especial de la preparación previa al hundimiento (Figura 3). Respecto a este tema existen especificaciones que se deben de cumplir, debido a la cantidad de materiales contaminantes que forman parte de una embarcación, como los bifenilos policlorados (PCBs), asbestos, plomo, combustible y derivados del petróleo, fibra de vidrio, plásticos, etc.



Figura 3. *Preparación de las embarcaciones guardacostas “coronel Alfonso Monge” en primer plano y “Franklin Chang” para su hundimiento. Las escotillas y torres para antenas y otros equipos se removieron, y el proceso de limpieza tardó más de seis meses. Cortesía de J. Campos.*

Los barcos utilizados para AA funcionan principalmente para crear sitios de buceo recreativo, no obstante si cuentan con una preparación adecuada, se colocan en un sitio idóneo y se combina con otro tipo de estructuras puede convertirse en un sitio de atracción de peces para fines pesqueros y recreativos. Por lo anterior, se debe de evitar en la medida de lo posible el uso de explosivos durante su hundimiento, ya que estos pueden causar debilitamiento de la estructura, situación que pone en riesgo a buzos que utilicen este arrecife como destino para excursiones submarinas.

- **AVIONES:** Por lo general los aviones no se construyen de aluminio puro debido a que estructuralmente es muy débil. Para su construcción se utilizan aleaciones, las cuales por lo general no están hechas para resistir o estar en contacto el agua de mar. De igual forma, son estructuras de poco peso que implican el uso de una gran cantidad de lastre para garantizar su hundimiento y fijación en el fondo marino. Pese a lo anterior, existen casos en Florida (EUA) donde se ha dado el uso de aviones de la segunda guerra mundial

en la construcción de AA, los cuales luego de 50 años de estar sumergidos mantienen una estructura firme (Lukens & Selberg 2004).

Al Igual que en las embarcaciones, la estructura del avión debe ser preparada previo a la fase de hundimiento. Para esto se deben remover todas las partes móviles, lubricantes y restos de combustibles que se consideren contaminantes para el ambiente. Pese a sus desventajas como materia prima ante las condiciones del mar, los aviones son populares como AA ya que son ideales para desarrollar practicas de buceo recreativo.

- **VAGONES DE FERROCARRIL:** Este tipo de materia prima ha sido utilizado ampliamente en países como EUA. Se ha observado que luego de dos años y medio después del hundimiento de los vagones, se desarrolló una diversidad importante vida marina asociada a las estructuras, y a la vez se observaron pocas señales de corrosión. Por otro lado se evidenció la pérdida de muchos de los costados de los vagones, debido a la corrosión o pérdida de láminas de metal que se soltaron, y es preferible utilizar vagones sin techo, ya que este tiende a colapsar debido a la debilidad estructural (Lukens & Selberg 2004). Los vagones de ferrocarril al igual que las embarcaciones o aviones deben ser sometidos a una rigurosa limpieza y preparación con el fin de evitar cualquier contaminación.
- **EMBARCACIONES DE MADERA:** La madera o troncos de árboles son materiales fáciles de conseguir, se colonizan rápidamente por organismos que hacen agujeros (conocidos como bioerosionadores). Este primer proceso de colonización atrae a otros organismos que pueden alimentarse de los colonizadores tempranos. La madera tiene la ventaja de ser un material natural que no contamina por sí solo. En ocasiones, con el fin de retrasar la erosión de la madera en el agua de mar, los barcos son tratados con sustancias tóxicas. Por lo tanto, si se va a considerar usar una embarcación de madera para un AA, se debe tomar en cuanto que esta no haya sido tratada con sustancias contaminantes, con el fin de evitar impactos negativos sobre los ambientes marinos. La madera es un material relativamente liviano y es difícil de estabilizar, su anclaje o método de mantener en el sitio y evitar que se desplace es laborioso. Además de esto, es un material de corta duración en el ambiente marino, por lo tanto estos AA son generalmente frágiles para hacerle frente a la acción de corrientes y oleaje (Figura 4).



Figura 4. *La Paquereña, embarcación de madera al momento del lastrado utilizando rocas para mantenerlo en el fondo. Cortesía J. Campos.*

- **ROCAS:** Las rocas presentan diferente composición química según su origen. Por ejemplo, la roca caliza, de origen biológico, se forma al depositarse el carbonato de calcio (CaCO_3) en esqueletos o conchas o arenas producidos principalmente por corales, moluscos y otros invertebrados o algas. Las rocas de origen inorgánico más comunes son los basaltos, de origen volcánico, que puede ser de origen local o de fondos oceánicos que fueron levantados por procesos tectónicos (Kussmaul, en Denyer & Kussmaul compiladores, 2000). Ambos tipos de roca son utilizados para construir AA.

Para que la roca funcione como unidad de un AA debe de tener un tamaño que sea manipulable por maquinaria, y que a la vez no sea fácilmente afectado por las fuerzas de corriente y oleaje (Figura 5). Las rocas son comúnmente utilizadas en diseños destinados a la protección de la línea de costa o como elemento mecánico para crear un oleaje propicio para deportes acuáticos como el surf. Se instalan siempre amontonadas y alineadas, creando escolleras o diques exentos.



Figura 5. Roca basáltica levantada por grúa. Tamaños similares o un poco más pequeños si se colocan en sitios adecuados se adaptan bien al fondo marino (Segura, A. 2013).

- **ELECTRODEPOSICIÓN:** Electrodeposición es el proceso de precipitar sales de calcio y de magnesio sobre un cátodo a través de corriente eléctrica. La técnica consiste en el uso de electricidad para provocar el crecimiento de piedra caliza sobre estructuras artificiales e incrementar la tasa de crecimiento de corales y otros organismos con esqueleto calcáreo: dos electrodos cargados con corriente directa de bajo voltaje, sumergidos en agua de mar, la reacción electrolítica que sucede en el cátodo (electrodo con carga negativa), provoca que precipiten minerales presentes en el ambiente, principalmente carbonato de calcio e hidróxido de magnesio (Wolf y Goreau, 1997).

La mayoría de su uso ha sido experimental, no se tiene conocimiento real de su eficiencia ni de su longevidad en el ambiente marino, o de su estabilidad en condiciones adversas, es necesario tener una fuente eléctrica en el sitio para producir el sustrato. Hace falta mucha más investigación para conocer su funcionalidad, sin embargo por sus posibilidades de deposición de carbonato de calcio es un método al que se debe seguir su evolución.

9. DISEÑO DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL

El diseño y los materiales son fundamentales para que la estructura propuesta cumpla los objetivos del proyecto. Tanto el diseño como los materiales propuestos deben de fundamentarse apropiadamente. La funcionalidad en el diseño es básica, los módulos deben ser fáciles de construir o de adquirir, el transporte y disposición de los módulos debe ser factible de una manera práctica y económica.

Si es para atraer peces arrecifales, el AA debe contar con los elementos que faciliten esta función, tales como agujeros, grietas, superficie rugosa para la adhesión de invertebrados sésiles, y ausencia de materiales que puedan desprender sustancias tóxicas con el paso del tiempo. Por otro lado, si el AA es diseñado para uso turístico debe de ser agradable a la vista y no presentar peligro para los usuarios (como el colapso repentino de las estructuras). La instalación, monitoreo y mantenimiento del AA deben realizarse con el fin de prevenir el colapso de las estructuras. De esta manera se busca minimizar poner en riesgo tanto la vida humana, así como la integridad de la vida silvestre asociada, local o regional, permanente o temporal.

Si el objetivo es disuadir o evitar la pesca con redes de arrastre, se deben agregar dispositivos que atrapen o corten los equipos de pesca. El AA tiene que facilitar la extracción de los equipos que quedan sujetos a la estructura del arrecife y al mismo tiempo debe existir una señalización que indique su ubicación. De igual forma, estas estructuras deben de tener el peso adecuado para evitar ser desplazadas de su posición original por las embarcaciones. En el caso de que algún arte de pesca quede atascado con las estructuras del AA, estas deben ser removidas en su totalidad de modo que se evite lo que se conoce como pesca fantasma. El responsable de remover las estructuras será la empresa o dueño de la embarcación pesquera si ha hecho caso omiso de la señalización. En caso de que el AA no cuente con señalización, los responsables de remover las estructuras serán quienes hayan colocado las estructuras.

10. UBICACIÓN DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL

Al planificar la instalación de un AA, una de las decisiones más importantes es la selección del sitio. Antes de seleccionar un sitio, hay ciertos criterios que se deben tomar en cuenta, así como varios aspectos del lugar, para poder considerarlo apto para la instalación de un AA.. En función del tipo de AA que se pretende instalar, su diseño y materiales, y del lugar seleccionado para su instalación, resulta imprescindible el conocimiento de una serie de variables ambientales las cuales determinan la viabilidad del proyecto. Se sugiere como mínimo establecer una distancia de 160 m entre un arrecife natural y un arrecife artificial (Rosemond et al., 2018).

Dentro de los parámetros a evaluar o tener en cuenta previa instalación de un arrecife artificial se tiene:

- **CORRIENTES Y OLEAJE:** Pueden afectar directamente la integridad de un AA. Los efectos de la corriente y el oleaje se pueden acentuar si el AA es instalado en aguas poco profundas. De igual forma se recomienda tomar en cuenta eventos climáticos cíclicos (trombas, huracanes, marejadas) que puedan causar daños en el AAe. En el caso de AA destinados a proteger la línea de costa, muelles, marinas, etc., es extremadamente importante hacer una caracterización de la dinámica del oleaje y corrientes presentes en el sitio.
- **SEDIMENTACIÓN:** La instalación de un AA artificial va a causar cambios en los patrones de sedimentación en un sitio. Sin embargo, es importante realizar estudios de la dinámica de sedimentación y el acarreo de sedimentos para estimar si estos se van a ver seriamente afectados por la instalación del AA. Uno de los escenarios que podrían presentarse si no se considera la dinámica de los sedimentos, es que estos lleguen a cubrir el AA hasta enterrarlo. Un estudio más detallado de esta variable será necesario si el arrecife es construido específicamente para atrapar y retener sedimentos.
- **GEOMORFOLOGÍA:** El conocimiento de la batimetría del lugar donde se hará la instalación del AA es imprescindible ya que esto determina aspectos como el tamaño, el tipo de hábitat que se puede desarrollar en el sitio, el efecto que la estructura tendrá sobre el medio físico y los mecanismos de fijación que se deben utilizar para evitar su

desplazamiento. Además es importante conocer las características del fondo marino, como por ejemplo su granulometría, grado de inclinación y la capacidad soportante.

- CALIDAD DEL AGUA: Esta es una variable que debe monitorearse de manera previa y luego de la instalación del arrecife ya que en función de la calidad del agua se pueden alcanzar o no los objetivos para los cuales fue instalado el AA. En el caso de zonas altamente contaminadas las probabilidades de formar nuevos ecosistemas son reducidas.

Dentro de las variables que se deben monitorear están:

- Físico-químicos:
 - Temperatura (°C).
 - Color, olor y sabor.
 - Salinidad.
 - Sólidos suspendidos o turbidez (mg/l o UTN).
 - Saturación-Concentración de oxígeno disuelto superficial y cada 5m hasta el fondo (g/ml).
 - pH.
 - Transparencia.
 - Conductividad.
- Biológicos:
 - Clorofila a (g/mL).
 - DBO-DQO.
 - Fitoplancton (cel/ml).
 - Zooplancton (biomasa g/ml).
- Microbiológicos:
 - Coliformes fecales y totales.
 - NMP-UFC.
 - *E. coli*.
- Nutrientes:
 - Ortofosfatos y fosfatos totales.
 - Nitrito, nitrato y nitrógeno total.
 - Amonio.
- Metales pesados y otros elementos:

- Plaguicidas e hidrocarburos.
- Sulfatos y sulfuros.
- Mercurio, cadmio, cobre, arsénico, zinc, plomo, cromo, níquel.
- **COMUNIDADES BIOLÓGICAS:** La diversidad presente en el lugar de la instalación del arrecife permite afinar los objetivos del mismo y seleccionar el tipo de estructura que mejor funcione para el lugar. De igual forma, servirá de referencia para evaluar los posibles efectos del AA a corto, mediano y largo plazo. Un aspecto importante a tener en cuenta dentro de esta variable es la distancia de ubicación del AA con respecto a formaciones de arrecife natural (coral o rocas) ya que no debería de generarse una situación de competencia entre estas estructuras para evitar un desequilibrio ecológico. Una distancia promedio recomendada entre estas estructuras debe ser de al menos 1000 m.
- **ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS:** Este es un parámetro a tener en cuenta, principalmente en aquellos proyectos donde el objetivo final, es el aprovechamiento de los recursos que se desarrollen asociados al AA (como por ejemplo pesca y turismo). Esta variable debe de ser analizada en conjunto con el estado actual de las pesquerías en zonas contiguas al arrecife. De esta forma será posible determinar el impacto del AA en la dinámica pesquera del lugar y de esta, con respecto a la economía de la o las comunidades ubicadas en el área de influencia. Sumado a esto, facilitará el ordenamiento de esta actividad para beneficio de los usuarios y las autoridades reguladoras.
- **INFRAESTRUCTURA PRESENTE:** Conocer la ubicación de estructuras como tuberías, redes, emisarios submarinos, muelles, entre otros, evitará que estas se vean afectadas por la instalación de un AA o que este se vea afectado por la presencia de las mismas. De igual forma, además de evitar impactos, se podrán definir acciones de control ambiental (prevención, mitigación y compensación-potenciación) en el caso de que ambos proyectos se mantengan.

11. MANEJO DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL

En el tema de las aguas o espacios marinos, el ordenamiento jurídico costarricense, señala que las aguas del mar son bienes de dominio público, por tanto, pertenecen al Estado, y es este quien las administra. Como todo bien de dominio público es inembargables, imprescriptibles e inalienables. De igual forma en La Ley de Pesca y Acuicultura (LPAC), en su artículo 6, indica que el Estado costarricense ejercerá dominio y jurisdicción exclusiva sobre los recursos marinos y las riquezas naturales existentes en las aguas continentales, el mar territorial, la zona económica exclusiva y las áreas adyacentes, sobre las cuales pueda existir jurisdicción nacional.

En el caso de las áreas marinas protegidas, al ser el mar un bien de dominio público, no existe un régimen de propiedad privada sino una administración del bien y sus recursos por parte del Estado. En este sentido, en la parte marina de las áreas protegidas lo que debe darse es una regularización del uso y aprovechamiento de los bienes y servicios que brindan los ecosistemas marinos.

Por lo anterior y en función del marco legal ambiental de Costa Rica, en la actualidad no existe ninguna figura jurídica que de derechos de exclusividad a persona natural o jurídica sobre una porción de mar o fondo marino. Ante esto, el manejo de un AA deberá ser coordinado con las entidades públicas reguladoras, y acordado bajo alguna figura de entendimiento y compromiso entre los usuarios del mismo. Herramientas de regulación como licencias de pesca y Planes de Ordenamiento Pesquero pueden contribuir a un manejo eficiente de estos sistemas.

Cualquier otra figura que busque otorgar algún derecho o exclusividad de uso sobre un AA implicaría realizar una reforma en el ordenamiento pesquero, el aumento de la capacidad de vigilancia conjunta, y el impulso político para lograr un adecuado manejo de estos derechos de uso territoriales. No obstante, herramientas como Planes Generales de Manejo de las Áreas Marinas Protegidas (AMPs), los Planes de Ordenamiento Pesquero en un Área Marina de Pesca Responsable (AMPR), Planes Directores de las Áreas marinas de Uso Múltiple (AMUMs) o procesos de Ordenamiento Espacial Marino (OEM) pueden servir de base para regular el manejo de los arrecifes artificiales en Costa Rica.

12. MONITOREO DE ARRECIFES ARTIFICIALES

Previo a la colocación del arrecife es necesario definir métodos de monitoreo que sean cuantificables, realistas de aplicar y que sus resultados sean comprobables. Relacionado a esto, el tipo de monitoreo, las técnicas y la frecuencia serán aspectos que van a depender de la finalidad para lo cual fue construido el arrecife. De igual forma, el monitoreo debe establecer y evaluar los impactos ambientales y/o los conflictos que el arrecife artificial puede estar generando con respecto a otras actividades que ahí se desarrollan. Dependiendo del resultado del monitoreo, puede ser necesario llevar a cabo modificaciones de la estructura, considerar su retiro o clausurar de forma temporal o permanente.

Debido a que existen diversas técnicas utilizadas en el monitoreo de sistemas marinos, para el caso de los arrecifes artificiales es posible adaptar alguna de las existentes. Independiente del protocolo metodológico, la solides de los resultados dependerá de la correcta implementación de los mismos y el análisis adecuado y objetivo de los datos recolectados.

Con el fin de implementar un monitoreo básico que permita dar seguimiento a la evolución del arrecife artificial, se recomienda revisar metodologías como la “*Standardized Survey Procedures for Monitoring Reef Ecosystems*” la cual cuantifica la cobertura y diversidad del sustrato, la diversidad y abundancia de macroinvertebrados móviles, peces crípticos y peces arrécifales. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en el Corredor Marino de Conservación del Pacífico Oriental Tropical donde ha demostrado generar buenos resultados (Edgar *et al.* 2004, 2011).

Sumado a lo anterior y con el fin de tener una mayor comprensión y entendimiento del proceso de desarrollo del sistema de arrecife artificial, el monitoreo biológico deberá estar acompañado de registros periódicos de variables oceanográficas y parámetros físicos y químicos (ver capítulo 9). El análisis en conjunto de estos elementos permitirá determinar de manera permanente si el arrecife está cumpliendo con los objetivos para los cuales fue creado y si es necesario desarrollar algún ajuste o modificación.

13. PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL

El procedimiento para la instalación de un arrecife artificial en Costa Rica conlleva una serie de pasos los cuales inicialmente definen la viabilidad del proyecto y posteriormente brindan a la o las entidades reguladores la información necesaria para otorgar o denegar los permisos y concesión de la obra.

En primer lugar el usuario deberá tramitar el *Formulario de Presentación de Proyecto* el cual brinda al ente regulador una descripción básica de los aspectos técnicos que definen la magnitud del proyecto. Este formulario se tramita ante la Dirección Marino Costera del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), directamente en sus oficinas en San José, o a través del Área de Conservación respectiva.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Collins, K. J. Jensen, A.C. Mallinson, J.J, Roenelle, V. y Smith, I.P. 2002. Environmental Impact assessment of a scrap tyre artificial reef. *Journal of Marine Science*. 59: S243-S249.
- Denyer, P. y Kussmaul, S. 2000. *Geología de Costa Rica*. 1 ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica. P. 520.
- Edgar, G. J., S. Banks, J. M. Fariña, M. Calvopiña, and C. Martínez. 2004. Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galápagos archipelago. *J. Biogeogr.* 31: 1107-1124.
- Edgar, G.J., S.A. Banks, S. Bessudo, J. Cortés, H.M. Guzman, S. Henderson, C. Martínez, F. Rivera, G. Soler, D. Ruiz & F.A. Zapata. 2011. Variation in reef fish and invertebrate communities with level of protection from fishing across the Eastern Tropical Pacific seascape. *Global Ecol. Biogeogr.* 20: 730-743.
- Langhamer, O. y Wilhelmsson, D. 2009. Colonisation of fish and crabs of wave energy foundations and the effects of manufactured holes – field experiment. *Marine Environmental Research*, doi: 10.1016/j.marenvres.2009.06.003.
- Luken, R. R. y Selberg, C. 2004. *Guidelines for marine artificial reef materials*. Second edition. Artificial Reef Subcommittees of the Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions. 2004. Informe técnico.
- Nakamura. M. 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *Bulletin of Marine Science*, 37(1):271-278.
- Ministerio de Ambiente. Gobierno de España. 2008. *Guía metodológica para la construcción de arrecifes artificiales*. <http://www.060.es>. P. 319.
- Wolf, H. y Goreau, T. 1997. Third Generation Artificial Reefs. www.globalcoral.org/third_generation_artificial_reef.htm