



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**"VALORACIÓN DE LA FORMACIÓN DE UN HABITAT ORIGINADO POR
LA CREACIÓN DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL A BASE DE LLANTAS:
EN EL LABORATORIO Y DENTRO DE LA BAHÍA DE TODOS SANTOS,
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO".**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G A
PRESENTA
MARTHA PATRICIA GONZALEZ AGRAZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MARZO DEL 2006.

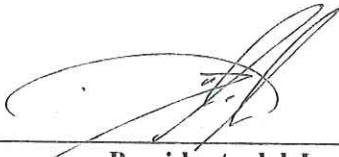
RESUMEN

Millones de llantas son producidas y desechadas cada año alrededor del mundo. En este trabajo se realizaron una serie de experimentos de laboratorio y campo con el fin de observar la susceptibilidad de la fijación de organismos sobre las llantas de desecho colocadas en el medio marino como una posible solución al problema de acopio de elementos potencialmente peligrosos, como lo son las llantas de desecho a cielo raso. En los experimentos se valora y cuantifica el efecto que ocasiona, afinidad o repudio como sustrato. Se realizaron tres experimentos para observar 1) si los organismos se fijaban o no en un ambiente hostil y si este medio presentaba un evidente daño a los organismos 2) si había secuenciación similar en un medio controlado (laboratorio) y 3) en el medio natural. Los resultados muestran que de las especies encontradas más del 60% utilizó a la llanta como sustrato de fijación, además de que no se encontró un aumento de mortalidad o deterioro de organismos en presencia de elementos de llanta. Se encontró además que la secuenciación biológica es similar en el laboratorio con el medio natural y en su etapa final de *Ulva clathrata* y *Ulva lactuca*, el incremento de biomasa en el laboratorio de 250 gr. en el laboratorio y de 100 gr. en el medio natural, presentando mayor diversidad de especies en el laboratorio. Se observa además que en un medio natural de mediana energía las incrustaciones logran incrementar el peso de la llanta mediante unas cubiertas de alga calcárea y algunos organismos bentónicos, reduciendo considerablemente su boyancia en un periodo de 4 a 5 meses. En general las llantas fueron encontradas como un sustrato de material aceptable para la fijación de organismos, lo cual es el principio de la generación de un arrecife artificial.

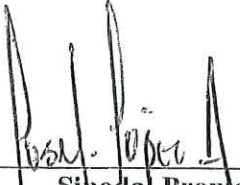
“VALORACIÓN DE LA FORMACIÓN DE UN HABITAT ORIGINADO POR LA CREACIÓN DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL A BASE DE LLANTAS: EN EL LABORATORIO Y DENTRO DE LA BAHÍA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO”.

T E S I S
QUE PRESENTA:
MARTHA PATRICIA GONZALEZ AGRAZ


Aprobada por:



Presidente del Jurado.
M.C. Luis Felipe Navarro Olache



Sinodal Propietario
Dra. Lus Mercedes López Acuña



Sinodal Propietario
M.C. José Antonio Eliseo Almanza Heredia

AGRADECIMIENTOS:

Primero quiero agradecer a Dios por darme a aquellas dos personas que me iluminan cada día que transcurre, con su apoyo y amor.

Gracias Félix (Amor) por ayudarme a ser una mejor persona, por acompañarme y darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y superar todos los obstáculos que se nos ponían en el camino. En pocas palabras GRACIAS POR AMARME. TE AMO.

Gracias Félix Andrés (mi Gordito) por alegrarme los días y tener una razón con mayor peso para seguir adelante. Gracias por todas aquellas sonrisas y miradas tiernas que estaban para mí cuando más las necesite; por sacarme una sonrisa de cualquier momento de desesperación. TE AMO.

Gracias a toda mi familia, mis Padres y Hermanos por apoyarme, a su manera, pero en fin apoyo y cariño. Gracias Papá y Mamá por hacerme una persona de bien con mis valores e ideas muy claras, espero no haberlos defraudado. Yveth, gracias por enseñarme a que tengo que defender lo que quiero a toda costa soportando todo lo que venga, Luis gracias por todo lo que paso aquellos años que vivimos lejos de casa, y por enseñarme a luchar por lo que pienso y por ultimo Mayra (Enana) la mas pequee gracias por comprender muchas de las cosas que me pasan y por quererme aunque no me lo digas, perdón por dejarte solita. Los quiero mucho.

Gracias a la gran familia que adquirí hace unos años, no los nombro a todos porque en verdad son muchos, pero cada uno de ellos ha sabido aceptarme dentro de la familia que ya tenían formada y no solamente me aceptaron si no que me han hecho sentir uno de ellos. Gracias a todos por todas aquellas felicitaciones y palabras de aliento cuando mas las ocupaba. Dentro de esta gran familia se encuentran mis Suegros y Cuñados, a los cuatro y en especial a mis Suegros muchísimas gracias por apoyarnos de muchas formas a salir adelante y muchas gracias por alegrarse de todos los logros que conseguí. MIL GRACIAS.

Gracias a los demás miembros de mi familia por su apoyo y comprensión, Tía Paty, Carlos, Valerie, Tía Martha, Tía Güera, Tía Lupita, Joselito, Tío Yiki (MUCHAS GRACIAS POR ESTAR SIEMPRE AL PENDIENTE), y a todos los miembros de la familia.

Gracias a mis maestros y compañeros por hacerme agradable mi estancia en esta institución, en los inolvidables cruceros y las tan divertidas salidas de campo.

Gracias a quien hizo posible que esta tesis, Luis Felipe Navarro Olache (Lufeno), gracias por confiar en mí para hacer este trabajo. Y gracias por el curso de buceo. Gracias a mis sinodales por ayudarme a resolver cualquier duda o cuando requerí de algo para completar mi trabajo, gracias Luz, gracias Cheo.

Espero no haber omitido a nadie, pero si lo hice solo le digo...Muchas Gracias.

Esta tesis se realizo parcialmente bajo el financiamiento del proyecto de Fondos Mixtos CONACYT- Gobierno del Estado de Baja California, FOMIX 2003-05 y una beca de la IX Convocatoria Interna de Universidad Autónoma de Baja California.

INDICE

| | |
|---|-----|
| Resumen..... | II |
| Página de Aprobación..... | III |
| Agradecimientos..... | IV |
| Índice..... | V |
| Lista de Tablas..... | VI |
| Lista de figuras, fotografías y Gráficas..... | VI |
| Introducción..... | 01 |
| Materiales y Métodos..... | 11 |
| Resultados..... | 17 |
| Discusión..... | 44 |
| Conclusiones..... | 49 |
| Bibliografía..... | 50 |

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Cantidad de Organismos Fijos en trozos de llantas

Tabla II. Registro de especies y porcentaje de cobertura en la superficie de la llanta para el primer monitoreo.

Tabla III. Porcentajes de Cobertura para el segundo mes de monitoreo.

Tabla IV. Registro de Porcentaje de Cobertura para el tercer monitoreo.

LISTA DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y GRÁFICAS

Figura 1: Mapa de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México (Modificado de Segovia-Zavala, *Et al.*, 2003).

Figura 2: Tanques de agua de mar en sistema abierto.

Figura 3: Cama de trozos de llantas.

Figura 4: Diseño de la estructura experimental.

Figura 5: Mejillones y macroalgas en estanques

Figura 6: Anémonas (*Anthopleura xanthogrammica*), lapas e isópodos (*Idothea urotoma*).

Figura 7: Representación Gráfica entre los organismos fijos a las llantas y los fijos al tanque.

Figura 8: Parásito de mejillón con escala de referencia.

Figura 9. Fotografía de la llanta problema al primer mes.

Figura 10. Acercamiento de las zonas cubiertas al primer mes.

Figura 11. Llanta cubierta en su mayoría por algas pardas y algas verdes (*Ulva lactuca*, *Ulva taenida* y *Heteromorpha*) durante el primer monitoreo.

Figura 12. Muestra de uno de los huevos de *Haminoea solitaria*, que se encontraron en la llanta durante el primer monitoreo.

Figura 13. Gráfica de pastel que representa los porcentajes de cobertura de las diferentes especies encontradas durante el primer monitoreo.

Figura 14. Fotografía del gasterópodo *Haminoea solitaria*, encontrado durante el segundo monitoreo 3 de marzo del 2005.

Figura 15. Fotografía de la llanta sumergida, obsérvese la abundancia y crecimiento de los organismos, tomada en el segundo monitoreo.

Figura 16. Gráfica de pastel que representa los cambios en los porcentajes de cobertura registrados en el segundo monitoreo.

Figura 17. Fotografía de los huevos de *Haminoea solitaria*, en esta se puede observar el notable crecimiento que presenta a lo largo de este periodo transcurrido.

Figura 18. Fotografía de la superficie de la llanta en la cual se puede observar el crecimiento del alga verde *Ulva clathrata*.

Figura 19. Fotografía de *Ulva lactuca*, sobre la superficie de la llanta, tomada durante el segundo monitoreo.

Figura 20. Fotografía de llanta antes de realizar la identificación de especies y la medición del porcentaje de cobertura, en vista de pájaro tomada para el tercer monitoreo.

Figura 21. Gráfica de pastel obtenida con los porcentajes de cobertura registrados durante el tercer monitoreo.

Figura 22. Muestra de *Ulva lactuca* fija en la llanta, fotografía tomada durante el tercer monitoreo.

Figura 23. Fotografía tomada durante el tercer monitoreo, muestra en la parte interna de la llanta la presencia de *Ulva clathrata*.

Figura 24. Gráfica de variación mensual de porcentaje de cobertura de las especies registradas durante el experimento.

Figura 25. Cangrejo Rey fotografiado durante el monitoreo a la estructura en ambiente natural, tomada el día 19 de Abril de 2005.

Figura 26. Erizo morado fotografiado durante el monitoreo del mes de abril a la estructura en ambiente natural.

Figura 27. Gorgonios (*Muricea fruticosa*) presentes durante el muestreo del mes de abril cercano a las estructuras colocadas en el medio natural.

Figura 28. Fotografía Submarina de la superficie de la estructura sumergida frente a las costas de Punta Morro.

Figura 29. Estrellas de mar que utilizan la estructura a base de llantas como sustrato de fijación.

Figura 30. Fotografía en donde se muestra la presencia de gorgonios, *Muricea fruticosa* fijas en la superficie de las llantas.

Figura 31. Anélidos presentes en la superficie de la llanta.

Figura 32. Muestra del momento donde las llantas son regresadas e instaladas de nuevo junto a las demás.

Figura 33. Estrella de mar encontrada dentro de la llanta durante el tercer monitoreo.

Figura 34. Fotografía que muestra los moluscos, anélidos y gorgonios, *Muricea fruticosa* comunes de la región fijos a la superficie de la llanta el día 05 de junio.

Figura 35. Fotografía submarina de los gorgonios, *Muricea fruticosa* es tomada durante el último monitoreo.

Figura 36. Cangrejo encontrado en la estructura durante el monitoreo del 03 de junio del 2005.

Figura 37. Camarón juvenil encontrado en el interior de la llanta en el tercer monitoreo.

INTRODUCCIÓN

Millones de llantas son producidas y desechadas cada año alrededor del mundo, lo anterior es sin duda un problema que va tomando una enorme magnitud por su tendencia creciente. En el Reino Unido, por ejemplo, cerca de 37 millones de llantas son reemplazadas cada año (EA, 1998). De esta cifra, aproximadamente el 30% son retratadas para reutilizarlas, 27% son usadas como combustible (por ejemplo, hornos y generación de electricidad) y 16% son reutilizadas enteras o en partículas granuladas, y el resto se deja para la disposición en reserva o terraplén. Las llantas se han almacenado en grandes centros de acopio, a cielo raso, donde son un riesgo manifiesto de combustión, de contaminación de suelo y de acumulación de insectos y roedores. Las llantas almacenadas pueden acumular oxígeno de tal manera que se incendien sin la necesidad de que exista una llama accidental (Cecich *et al.*, 1996). Una vez en llamas las grasas orgánicas que forman las llantas hacen los fuegos sumamente difíciles de extinguir, los humos emanados de esta combustión son tóxicos y precursores de enfermedades serias; en animales de laboratorio se ha visto que el benceno derivado de las llantas pudo causar leucemia y el tolueno causó enfermedades de los riñones e hígado (Jenish, 1990). Esto es un problema mundial y ha conducido, por ejemplo, a una proposición de la Unión Europea de prohibir el uso de sitios de entierro de estos desechos. La longevidad, resistencia y forma de las llantas se han explotado para muchos usos de las construcciones marinas como: rompeolas (terrestre y fuera de la costa), muros de contención en puertos y estuarios y arrecifes artificiales para el realce de la industria pesquera (Collins *et al.*, 1995 (b), 2002).

Las llantas son relativamente boyantes en agua de mar, y las tentativas iniciales de construir los arrecifes de las llantas en los EE.UU. estuvieron mal diseñadas por lo que las llantas fueron rápidamente transportadas a tierra por las tormentas. Esto condujo a las restricciones o a la prohibición del uso de este material para la construcción de arrecifes en algunos estados como por ejemplo en California y Washington (Stone, 1985). McGurrin's (1988) en una revisión de arrecifes atlánticos describe la acertada utilización del relleno de concreto en las unidades de las llantas empleadas en diversos programas en varios estados.

La mayoría de los artículos sobre arrecifes artificiales de llantas están concentrados en poblaciones y retención de los peces. Sin embargo, cuando se considera el potencial de impacto ambiental en el ecosistema marino, el crecimiento de organismos en la superficie de la llanta puede ser más revelador que la fauna móvil, pues su exposición a cualquier desprendimiento de algún elemento químico tóxico de la llanta es mayor (Collins *et al.*, 2002).

El Plan Nacional de Arrecifes Artificiales de Estados Unidos (Stone, 1985) incluye a las llantas como material de construcción y observa que no se ha demostrado ningún efecto tóxico atribuible a la lixiviación o a la descomposición. Sin embargo, hay poca información publicada sobre la lixiviación de compuestos en el mar o el agua dulce.

Hasta ahora, millones de llantas usadas en arrecifes artificiales marinos alrededor del mundo han sido colonizadas por algas, peces, crustáceos, moluscos e incluso por los mamíferos marinos sin que se observaran efectos perjudiciales evidentes (Collins *et al.*, 2002). Sin embargo, hasta que sean realizados estudios ambientales de la compatibilidad de las llantas con el mar, ningún país puede sancionar su uso.

Los arrecifes artificiales (AR), han probado su utilidad en numerosas situaciones y son considerados como un mecanismo para fortalecer la industria pesquera artesanal y deportiva, ya que proporcionan hábitats nuevos y de restauración, por el aumento de sustrato y protección de ambientes del piso (Rong *et al.*, 2003). En años recientes, se ha avanzado a pasos agigantados en el entendimiento de un hábitat ecológico artificial, aunque muchas preguntas con respecto a su rendimiento y el impacto ambiental permanecen sin respuesta (Carr y Hixon, 1997; Perkol, 2005). Una de las razones del escaso entendimiento de la ecología de los arrecifes artificiales es la falta de conocimiento de los efectos que rodean a un ambiente natural (Sheng, 2000; Svane y Petersen, 2001; Perkol, 2005).

Los arrecifes artificiales han sido propuestos como una herramienta para la restauración de hábitats marinos perturbados, abatidos o estériles, por su habilidad en el reclutamiento y reproducción de organismos marinos (Bohnsack y Sutherland, 1985; Carr y Hixon, 1997; Seaman y Jensen, 2000; Perkol, 2004). Además, ha sido propuesto

que los arrecifes artificiales correctamente manejados, pueden ponerse a disposición del público como sitios alternativos de buceo, incrementando las áreas turísticas, y reducir la presión humana en los arrecifes naturales, facilitando su rehabilitación (Whilhelmsson et al 1998; Rilov y Benayahu, 1998; Perkol, 2005).

Bombace *et al.* (1994) y Pratt (1994) reportados por Rong *et al.* 2003, consideran que extensos arrecifes con alta capacidad de carga son favorables para atraer un gran número de especies permanentes. Reportando que mientras mayor es la biomasa de estos arrecifes, esas biomasas están principalmente compuestas de grandes pero pocos individuos. En contraste, Bohnsack y Sutherland (1985) y DeMartini *et al.* (1989) notaron que la mayor biomasa y densidad de peces se encontraban en los pequeños arrecifes y no en los extensos arrecifes. Además, Ambrose y Swarbrick (1989) consideraron el efecto tenso del arrecife (antes de ser un ecosistema establecido), diciendo como con un grupo de pequeños arrecifes es posible atraer mayor número de peces para un área proporcionalmente más grande debido a una mayor cobertura de área.

Varios estudios han examinado las etapas tempranas de la colonización de arrecifes artificiales (Bailey-Brock, 1989; Cummings, 1994; Palmer-Zwahlen y Aseltine, 1994; Perkol, 2005). Estas etapas siguen el modelo de inhibición de una sucesión (Connell y Slatyer, 1977), donde indica que en los establecimientos iniciales (fijación de microalgas) predomina el sustrato, retrasando la aparición de los establecimientos secundarios como los son macroalgas, el retraso se da porque el sustrato todavía no se

encuentra totalmente cubierto por microalgas. Solo después ocurre el cambio en la estructura comunitaria cuando se suman los demás organismos y progresa la sucesión hasta el punto donde los organismos iniciales interactúan a beneficio de todos los organismos y forman un ciclo (Connell y Slatyer, 1977; Perkol, 2005). Aunque varios estudios han descrito tales fases en los cambios de la comunidad mediante monitoreo a corto plazo (Fitzhardinge y Bailey-Brock, 1989; Cummings, 1994; Palmer-Zwahlen y Aseltine, 1994; Perkol, 2005), solo en unos pocos estudios se ha evaluado la evolución del arrecife más allá de las fases iniciales de la sucesión (Perkol, 2005; Carr y Hixon, 1997).

Las llantas son un material sugerido a menudo para la construcción de arrecifes artificiales y se utilizan con éxito en muchas partes del mundo (apoyando principalmente la epibiota), incluyendo Australia (Branden *et al.*, 1994; Pickering *et al.*, 1998), Jamaica y las Filipinas. En esos países las llantas se consideran como un material no tóxico, durable y disponible (Pickering *et al.*, 1998). En contraste, en Europa, las llantas son consideradas por muchos como una fuente potencial de la contaminación por lixiviación. Sin embargo, una evaluación preliminar de lixiviación de llantas (Collins *et al.*, 1995 (b); Pickering *et al.*, 1998) indica que la investigación adicional es un requisito para llevar a cabo cualquier evaluación cuantificada. Si las llantas son ambientalmente aceptables entonces el desafío principal ahora será el desarrollo de las técnicas de ingeniería para lograr una estructura físicamente estable (Pickering *et al.*, 1998). Bajo el agua, las llantas están protegidas contra la degradación ultravioleta y están en un

ambiente neutro y químicamente estable, que puede limitar la lixiviación (Collins *et al.*, 2002).

En los EE.UU. se pone mucho énfasis en materiales de oportunidad (Stone *et al.*, 1991) ya que presentan un bajo costo, gran disponibilidad y favorecen a la cultura del reciclaje o reutilización. Una variedad de estructuras, sin residuos tóxicos ni organismos, se han desplegado para formar los arrecifes artificiales en áreas predeterminadas, incluyendo plataformas de producción de petróleo y del gas en el Golfo de México (Wilson y Van Sickle, 1987; Stanley y Wilson, 1990; Pickering *et al.*, 1998). Estos arrecifes artificiales proporcionan un foco recreativo para la pesca y buceo autónomo. Los Estados Unidos también han iniciado el uso de PFA¹ en estructuras del arrecife bajo el programa C-WARP² (Woodhead *et al.*, 1986; Pickering *et al.*, 1998), el desarrollo de las “rocas del caucho” (con las cuales se logro estabilidad en un arrecife de llantas) y el uso de los arrecifes artificiales para la mitigación ambiental (Pickering *et al.*, 1998; Ambrose, 1994).

En el presente trabajo se cuantifica el aumento de la biomasa por área de sustrato generada a partir de la creación de un arrecife artificial elaborado con llantas de desecho, tanto en condiciones de laboratorio como en un área en el mar, este trabajo se llevo a cabo en las instalaciones de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas y

¹ siglas en ingles de Combustible de Ceniza Pulverizada

² siglas en ingles de Programa de Arrecife Artificial de Carbón Desperdiciado

del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California

Antecedentes

El uso de diversos materiales de construcción y estudio de arrecifes artificiales realizados en el Laboratorio de Investigación de Peces Marinos para la Pesca Deportiva, en Sandy Hook, New Jersey, considera que el mejor material para la construcción de arrecifes son las llantas usadas, ya que ofrecen varias ventajas, entre las cuales destacan el que se pueden obtener fácilmente, no se descomponen ni se oxidan y no ha sido probado que de ellas se desprendan sustancias tóxicas. El uso de arrecifes artificiales para generar nuevos ecosistemas se ha desarrollado principalmente en la industria pesquera. Sin embargo, los arrecifes artificiales pueden llenar una variedad de papeles más allá de esto, por ejemplo, como herramienta para: conservación natural (Pickering *et al.*, 1998, Debernardi y Allemand, 1993; Santaella y Revenga, 1993), la disposición de adicionar un hábitat específico (Spanier y Almog-Shtayer, 1992; Debernardi y Allemand, 1993), acuicultura (Fabi y Fiorentini, 1996), turismo (Milon, 1991; Branden *et al.*, 1994), mitigación ambiental (Ambrose, 1994), restauración de hábitats (Clark y Edwards, 1994) y protección de hábitat (Bombace, 1997).

Stone *et al.* (1975) enlista 40 arrecifes en la Costa Este de Estados Unidos, con los cuales se dio un uso a un total 700,000 llantas. Laufle (1982) observó que las colonias de briozoarios preferían establecerse en llantas.

Stanton *et al.* (1985) y Berger (1993) listan 60 artículos sobre rompeolas contruidos a partir de llantas y más de 200 referencias sobre arrecifes artificiales hechos con llantas y describen arrecifes elaborados del mismo material desde Norte América, el Caribe, Europa, Pacífico Asiático y Australia.

Fitzhardinge y Bailey-Brock-Brock (1989), compararon en Hawaii el crecimiento de corales en llantas, concreto y metal observando que los últimos dos substratos eran más eficaces. Un problema que reportaron con las llantas es la facilidad con que se doblan durante las tormentas dando como resultado el desprendimiento de la epifauna rígida que se encontraba fija a las llantas en experimentación.

Guzmán *et al.* (1986) reporta que arrecifes artificiales en el Golfo de Nicoya, Puerto Rico, elaborados con llantas, en la actualidad son utilizados y han dado buenos resultados al formar un hábitat nuevo para algunas especies marinas, algunas de ellas con valor económico.

La Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. en el 2003, comunica que recientemente ha comenzado a dárselas a las llantas un novedoso

uso como arrecifes artificiales en el Caribe Colombiano, obteniéndose excelentes resultados en la recuperación del ecosistema marino.

Concha Gonzalo (2004) publica que después de 25 años de la instalación del primer arrecife artificial con llantas viejas rellenas de cemento, en la que en ese entonces fue la cárcel de la Isla de Gorgona, al realizar un buceo SCUBA en el lugar encontraron un esplendoroso hábitat con una vida asociada digna del más grande y mejor laboratorio viviente: Pargos adultos y juveniles, chernas, meros juveniles, cirujanos, cofres, porta estandarte o ídolo moro, cabras, rabirrubias, mariposas, sargento mayor, belleza de las rocas, ángel francés, morenas, isabelitas, ardillas, carajuelos, damiselas, tamboreros, pez globo, bivalvos, gorgónias, formaciones coralinas, algas, así como una gran variedad de juveniles de peces ornamentales. De lo cual, concluye que con muchas de las mal llamadas “basuras” podemos repoblar nuestros fondos marinos.

Perkol-Finkel y Benayahu (2004) sugiere que un arrecife artificial puede aumentar la heterogeneidad local de organismos y la disponibilidad de espacio por la suma de nuevos hábitats, incrementando la producción y elevando la diversidad de especies en los alrededores. También, Perkol-Finkel y Benayahu (2005) realizaron un estudio que apoya la construcción de arrecifes artificiales planeados, proponiendo sus diseños que son apropiados para la colonización diversa. Los arrecifes artificiales planeados son benéficos, con una estructura más compleja y heterogénea ofreciendo diferentes hábitats, apropiados para una rica ensambladura de especies.

Hipótesis

Las llantas de desecho utilizadas en la elaboración de arrecifes artificiales incrementan la biomasa de zonas con problemas en las poblaciones de las comunidades bénticas; sirviendo como sustrato para la fijación de organismos.

Objetivo general

Identificar la distribución de organismos de un micro sistema marino cuyo sustrato cuenta con llantas de desecho como material principal

Objetivos particulares

- ✓ Observar la efectividad de la fijación de flora y macrofauna en trozos de llanta.
- ✓ Valorar cualitativamente los efectos de afinidad o repudio al sustrato, de un arrecife artificial elaborado con llantas de desecho ancladas a un muerto, en la repoblación de fauna y flora de la bahía de Todos Santos, Baja California, México.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

La Bahía de Todos los Santos (Figura 1) esta situada en la costa occidental de la península de Baja California, México, se localiza al sur del paralelo 32° N. La bahía se extiende en forma semicircular entre la punta de San Miguel, que la limita al norte, y la península de Punta Banda, al sur. Presenta una anchura aproximada de 15 km y su profundidad mayor la alcanza en el extremo SW. Cuenta con dos islas llamadas Todos Santos, la más grande mide 2 km de longitud y 800 m de anchura; está separada de otra isla mediante un canal de 3.3 km, y ambas están formadas por tierras estériles y rocallosas, rodeadas por rocas aisladas. En la bahía se explota, de forma importante, la pesca de diversas especies de peces y mariscos, principalmente en la zona rocosa del norte y sur de la Bahía. Durante los meses de primavera y verano, esta área se puebla de un gran número de aves y algas marinas. La región SE de la bahía se caracteriza por tener una larga playa de arena y una barra conformando un estero. Esta zona puede considerarse la región menos productiva en función de la baja densidad de peces característica de una zona arenosa.

La estructura experimental se encontraba localizada en la isobata de 11 metros, frente a la costa de Punta Morro, con localización geográfica en 31.8583 °N y 116.66736 °W.

Los estanques de los experimentos fueron localizados dentro de los laboratorios de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas y del Instituto de Investigaciones

Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, en la ciudad de Ensenada, Baja California.

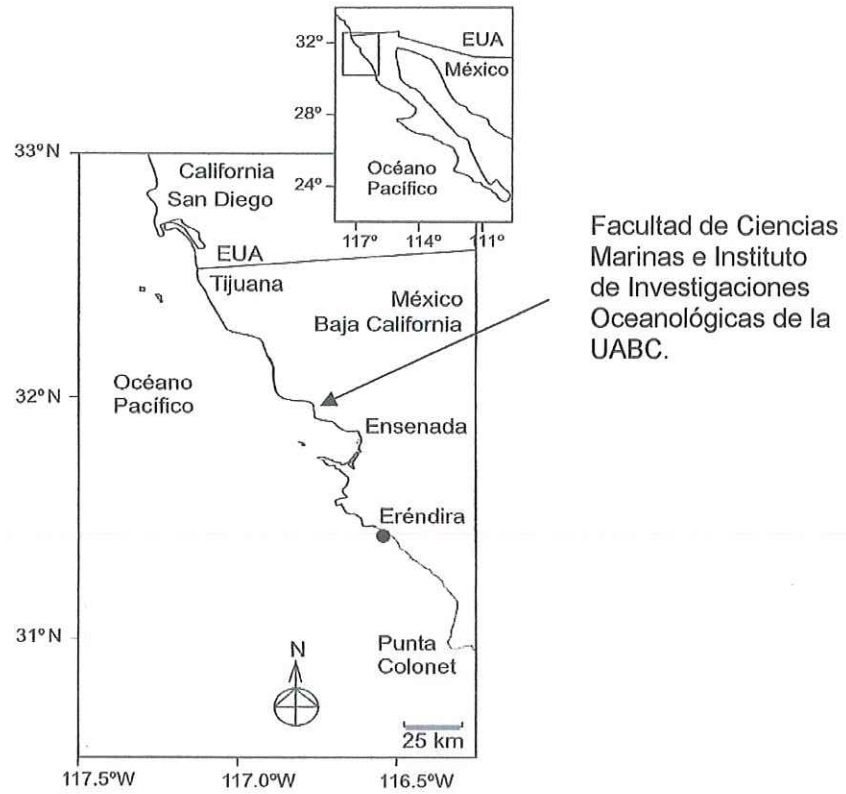


Figura 1: Mapa de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. (Modificado de Segovia-Zavala *et al.*, 2003).

Métodos

Experimento 1

El primer experimento se realizó durante el periodo de verano y otoño del año 2004, este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas, y consistió en instalar dos estanques de 600 l con agua de mar filtrada (40 micras de luz) con sistema abierto (Figura 2). En ambos estanques se colocaron la misma cantidad de mejillones (75 organismos) cabe mencionar que es la única especie que se introdujo, las otras especies encontradas, se fijaron conforme transcurría el tiempo las cuales provenían de la columna de agua. y en el primero fue colocada una cama de trozos de llantas (Figura 3) que sirvió como sustrato nuevo y el segundo tanque sirvió como control también llamado tanque blanco



Figura 2. Tanques de agua de mar en sistema abierto.



Figura 3. Cama de trozos de llantas.

Experimento 2

Se colocaron dos estanques dentro de las instalaciones de acuicultura del Instituto de Investigaciones Oceanológicas en diciembre del 2004, en los cuales se introdujeron 2 llantas enteras para conocer la atracción hacia la fijación de organismos. Para esto, los estanques contaron con un subministro de agua de mar directa (cruda, el suministro de agua cruda es con el fin de acercar el medio controlado lo mayor posible al medio natural, dejando entrar cualquier larva, espora u organismo que se encontraba en la columna de agua del mar, con esto se espero tener una colonización muy parecida a la ocurrida en el medio natural. Este sistema estuvo funcionando durante el otoño, invierno y parte de primavera, para tener un aspecto más amplio de la gama de organismos que se pudieran fijar debido a que su reproducción varía a través de las estaciones. Se observó y se registró el cambio de la especies mediante la identificación

de los organismos. Mensualmente se revisaron los estanques para registrar los cambios ocurridos en la fijación de especies, tomando fotografías para la corroboración de la identificación, incluyendo el cambio generado por la variación estacional de las condiciones ambientales. Al final del experimento se cuantificó el peso del material adherido a la llanta como un indicador del aumento de biomasa.

Experimento 3

Consistió en poner una estructura AR de llantas de desecho, colocando en su interior piezas de hierro, que servirán como plomos para mantener la estructura en su posición, para probar la fijación de organismos en un ambiente natural, dicha estructura (Figura 4) fue colocada a aproximadamente 200 metros fuera de la costa y a 11 metros de profundidad. En este lugar se obtuvo un nivel de energía media-baja y se realizaron muestreos en periodos mensuales (o lo que el tiempo permitio) se realizaron 3 monitoreos a partir del día 07 de Octubre del 2004 (día que se coloco la estructura) y hasta el día 3 de junio del 2005 con el fin de observar si este fue aceptado por la fauna y flora local como substrato de fijación. Se monitoreó el efecto de la estructura de llantas al ecosistema, obteniendo un registro directo con cámara submarina, fotografía digital submarina y muestreo de organismos. Esta técnica esta descrita detalladamente por Collins *et al.* (2002).

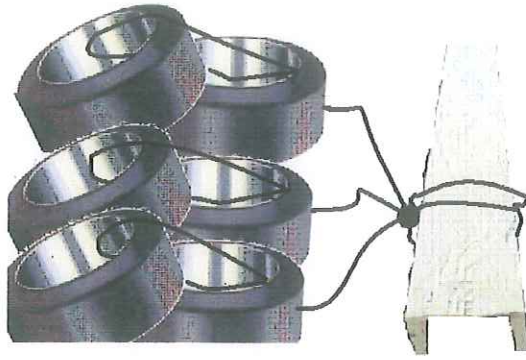


Figura 4. Diseño de Estructura Experimental.

En los experimentos 1 y 2 se realizaron diagramas de pastel donde se presentan los porcentajes de cobertura con los cuales se pueden observar que especies predominan y como es el cambio de especies en cada monitoreo.

En el experimento 2 se realizó un histograma de frecuencias para ver la variación de especies durante el experimento. Al final de este se saca la llanta para obtener la biomasa y compararla con la del medio natural en el experimento 3.

Al final del experimento 3 se sacó la biomasa presente en la estructura y se compara con la del experimento 2 para obtener el mejor resultado en eficacia.

RESULTADOS

Experimento 1: Susceptibilidad de fijación de organismos agregados

En la Tabla I se muestra el registro de porcentaje de organismos fijados en llantas para el tanque con trozos, este porcentaje se realizó tomando como 100% el número total de cada especie y se obtuvo cada porcentaje de llanta y de tanque. Como se puede observar, el material de llantas fue utilizado positivamente para la fijación de organismos. Del total de mejillones (*Mytilus californianus*) que fueron aproximadamente 150, el 80% utilizó los trozos de llantas en el tanque para fijarse, sin embargo el otro 20% utilizó las paredes del tanque como sustrato de fijación. En el caso de las macroalgas (Figura 5), el 70% de *Ulva lactuca* utilizó los trozos de llantas para fijarse; se estipuló que la dispersión total en el tanque fue un 100% y se sacó el porcentaje de cobertura estaba fijo en las llantas. El 30% se fijó a las paredes del tanque o en la superficie del tanque. De igual manera fue contabilizada el alga parda (Figura 5) obteniendo como resultado que un 78% del alga estaba fija en la superficie de la llanta y el 22% fija en el tanque o sobre la superficie. Las anémonas (*Anthopleura xanthogrammica*) que se fijaron al sustrato fueron un total de 4, de las cuales 3 de ellas utilizaron los trozos de llanta y solamente una se fijó al fondo del tanque. En el caso de los isópodos (Figura 6), estaban principalmente entre las ranuras y las algas fijadas en la llanta, siendo estos el 100% ya que en el agua no se encontró ninguno. Por último, las lapas (Figura 6) con un total de 5 organismos de los cuales había 3 en los trozos de llantas y 2 en las paredes del tanque.



Figura 5. Mejillones y macroalgas en estanques.



Figura 6: Anémonas (*Anthopleura xanthogrammica*), lapas e isópodos (*Idothea urotoma*).

Tabla I. Cantidad de organismos fijos en trozos de llantas

| Organismo | Porcentaje de organismo fijo en llanta | Porcentaje de organismo fijo en tanque |
|--|--|--|
| Mejillón, <i>Mytilus californianus</i> | 80 | 20 |
| Alga Verde, <i>Ulva lactuca</i> | 70 | 30 |
| Algas Pardas | 78 | 22 |
| Anémona, <i>Anthopleura xanthogrammica</i> | 75 | 25 |
| Isópodo, <i>Idothea urotoma</i> | 100 | 0 |
| Lapas | 60 | 40 |

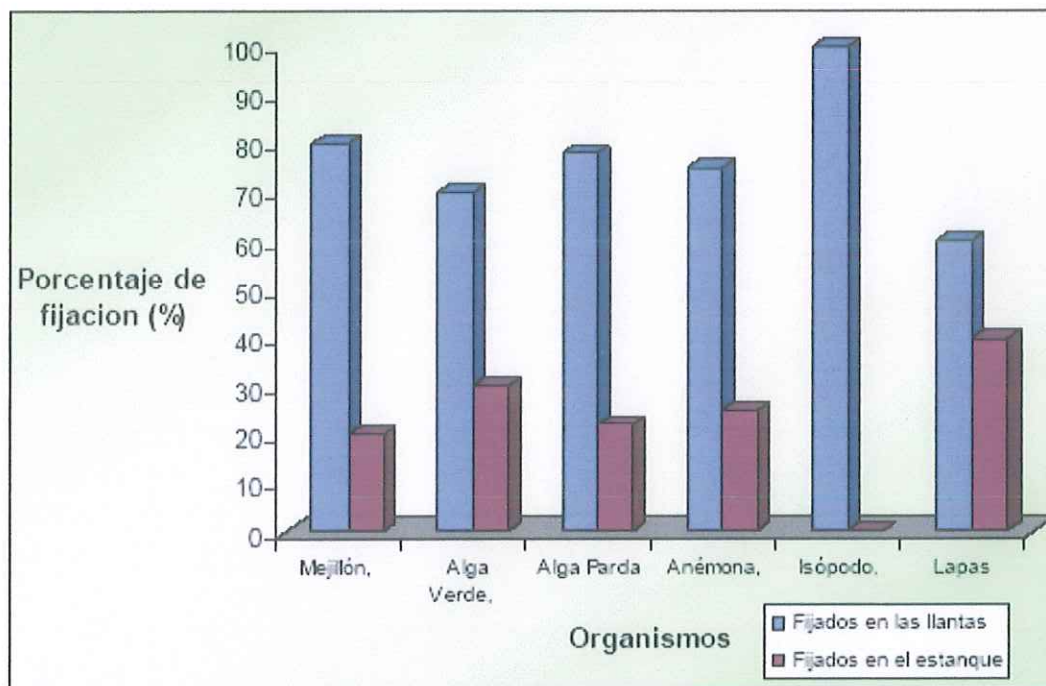


Figura 7. Representación gráfica entre los organismos fijos a las llantas y los fijos al tanque.

Se observó en el tanque que contenía mejillones (*M. californianus*) un organismo parásito de esta especie el cual fue identificado como *Nereis vexillosa*, (Figura 8) suponiendo que este organismo venia incrustado en los mejillones podemos indicar que no presento daños evidentes durante los meses que estuvo bajo la influencia de las llantas.



Figura 8. Parásito de mejillón con escala de referencia.

En el segundo tanque, llamado tanque blanco, las especies que se encontraron ahí, se fijaron a las paredes del tanque como era de esperarse.

La sobrevivencia de los organismos agregados al sistema fue del 100%, ya que del resto de las especies no se puede tener la certeza de su mortalidad por ser un sistema abierto. En ningún tanque se presento mortalidad, a pesar de que no se encontraban en

las mismas condiciones que en su ambiente natural. Esto indica que durante el experimento hubo un buen funcionamiento en los tanques.

Experimento 2: Atracción y susceptibilidad de fijación en laboratorio

Una vez que fueron colocadas las llantas en los estanques, se monitoreo mensualmente, donde se obtuvo lo siguiente:

Ya iniciado el experimento, se le dio un espacio de dos meses en el cual no se colecto ni se registraron organismos, para dar tiempo a que estos se fijaran; solo se fotografió la llanta para observar el cambio que se iba presentando al mes de experimentación (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Fotografía de la llanta problema al primer mes.



Figura 10. Acercamiento de las zonas cubiertas por organismos al primer mes.

El primer monitoreo se llevo a cabo el día 03 de Febrero de 2005 donde al sacar la llanta del tanque se encontraron organismos como isopodos y algas que se fijaron a la llanta y en las ranuras de esta, algunos caracoles y pequeñas lapas los cuales no son contabilizados en porcentaje de cobertura debido a que no utilizan a la llanta como substrato. En este monitoreo, se presentaron algas verdes (*Ulva lactuca*, *Ulva clathrata*), alga parda (Figura 11) y alga roja (*Porphyra ssp.*); en algunas zonas de la llanta se observan bastantes tiras de huevos de *Haminoea solitaria* (comunicación personal-Dra Dora Waumman). (Figura 12). El alga parda predomina en el porcentaje de cobertura de la superficie de la llanta, teniendo parches de otras algas y organismos aferrándose al sustrato; con los datos de la Tabla II y la Figura 13 se puede observar esto con mayor claridad.



Figura 11. Llanta cubierta en su mayoría por algas pardas y algas verdes (*Ulva lactuca*, *Ulva clathrata*) durante el primer monitoreo.



Figura 12. Muestra de uno de los huevos de *Haminoea solitaria*, que se encontraron en la llanta durante el primer monitoreo.

Tabla II. Registro de especies y porcentaje de cobertura en la superficie de la llanta para el primer monitoreo.

| Especie | Porcentaje de cobertura de la llanta |
|-------------------------------------|---|
| <i>Alga parda</i> | 69% |
| <i>Ulva lactuca</i> | 3% |
| <i>Ulva clathrata</i> | 7% |
| <i>Porphyra</i> | 20% |
| Huevos de <i>Haminoea solitaria</i> | 1% |

Con los datos obtenidos en la Tabla II, se realiza una gráfica de pastel para obtener una visión de los porcentajes de cobertura en la superficie de la llanta.

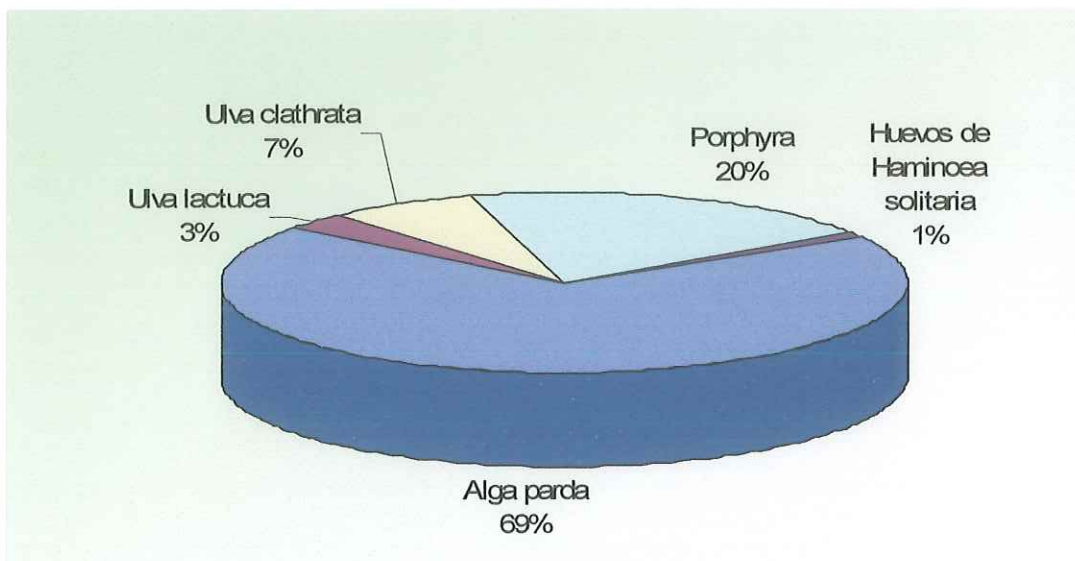


Figura 13. Gráfica de pastel que representa los porcentajes de cobertura de las diferentes especies encontradas durante el primer monitoreo.

Cabe mencionar que en la Figura 13 no se incluyen los isopodos debido a que estos no se encontraban fijados a la llanta, solo le servía de refugio entre las ranuras de las llantas y las algas ya fijadas.

El segundo monitoreo fue el día 03 de Marzo de 2005, se obtuvieron los porcentajes de cobertura, en la superficie de la llanta, el 55 % de la superficie de la llanta estaba cubierta con alga parda, el 23% de *U.clathrata*, 14% de *Phorphyra spp.*, 5% de *U. lactuca* y un 3% de huevo de *H. solitaria*; esto se muestra en la Tabla III durante este periodo se encontró un gasterópodo (*H. solitaria*, Figura 14) este organismo no estuvo en el monitoreo anterior. Un cambio muy prominente entre un mes y otro fue sin duda el cambio en la cantidad de organismos (Figura 15).

Durante este monitoreo se registró el cambio en los porcentajes de cobertura de la superficie de la llanta como se observa en la gráfica de pastel (Figura 16); el crecimiento de los organismos a lo largo de un mes es muy evidente y se puede observar en los huevos de *H. solitaria* (Figura 17), *U. clathrata* (Figura 18) y *U. lactuca* (Figura 19).

Tabla III. Porcentajes de cobertura para el segundo mes de monitoreo.

| Especie | Porcentaje de Cobertura |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Alga parda</i> | 55% |
| <i>Ulva lactuca</i> | 5% |
| <i>Ulva clathrata</i> | 23% |
| <i>Porphyra</i> | 14% |
| Huevos de <i>Haminoea solitaria</i> | 3% |



Figura 14. Fotografía del gasterópodo *Haminoea solitaria*, encontrado durante el segundo monitoreo 3 de marzo del 2005.



Figura 15. Fotografía de la llanta sumergida, obsérvese la abundancia y crecimiento de los organismos, tomada en el segundo monitoreo.

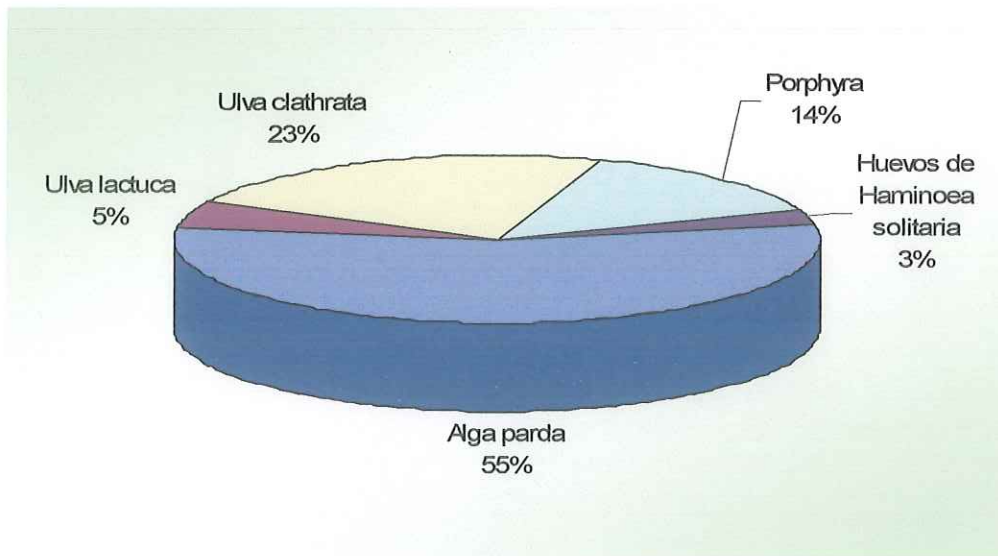


Figura 16. Gráfica de pastel que representa los cambios en los porcentajes de cobertura registrados en el segundo monitoreo.



Figura 17. Fotografía de los huevos de *Haminoea solitaria*., se puede observar mayor abundancia en la presencia de estos en relación al monitoreo anterior.

El gasterópodo *H. solitaria*, no se incluyó dentro de la Figura 16 ya que solamente se encontró un organismo. Durante el periodo comprendido entre el primer y el segundo muestreo se observó la disminución de *Porphyra ssp.*, aumentando el crecimiento y fijación de algas verdes como lo son: *U. lactuca* (Figura 19), *U. clathrata* (Figura 18). El aumento de los huevos de *H. solitaria*. en este tiempo fue notable, se puede observar mediante la comparación de las Figuras 12 y 17.



Figura 18. Fotografía de la superficie de la llanta en la cual se puede observar el crecimiento del alga verde *Ulva clathrata*.



Figura 19. Fotografía de *Ulva lactuca*, sobre la superficie de la llanta, tomada durante el segundo monitoreo.

El tercer monitoreo se realizó el día 07 de abril del 2005, se observó que durante el periodo transcurrido entre los monitoreos *el alga parda* y *Porphyra ssp.* desaparecieron del estanque. El repoblamiento de la superficie de la llanta, de algas pardas a algas verdes (Figura 20), conforme transcurrió el tiempo fue más evidente; el crecimiento de las algas verdes se vio favorecido con el cambio en la temperatura del agua que ocurre con el cambio estacional. La mayoría de los organismos presentes en los primeros monitoreos se encontraba en crecimiento. Dentro de los organismos presentes en este periodo se encontró *Colpomenia sinuosa* con porcentaje bajo (menor a 0.5%) de cobertura.



Figura 20. Fotografía de llanta antes de realizar la identificación de especies y la medición del porcentaje de cobertura, en vista de pájaro tomada para el tercer monitoreo.

Los cambios registrados en este periodo se observaron claramente en la gráfica de pastel (Figura 21). En la Tabla IV se reporta el registro de especies encontradas y la cobertura de cada una sobre la superficie de la llanta; con esto se puede observar en este periodo la dominancia fue de las algas verdes *U. lactuca* (Figura 22) y *U. clathrata* (Figura 23). Además del cambio en el porcentaje de cobertura de estas especies en particular, se observó un crecimiento rápido teniendo ejemplares con un tamaño de 7 cm.

Tabla IV. Registro de porcentaje de cobertura para el tercer monitoreo.

| Especie | Porcentaje de cobertura |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Ulva lactuca</i> | 35% |
| <i>Ulva clathrata</i> | 60% |
| <i>Colpomenia sinuosa</i> | 2% |
| Huevos de <i>Haminoea solitaria</i> | 3% |

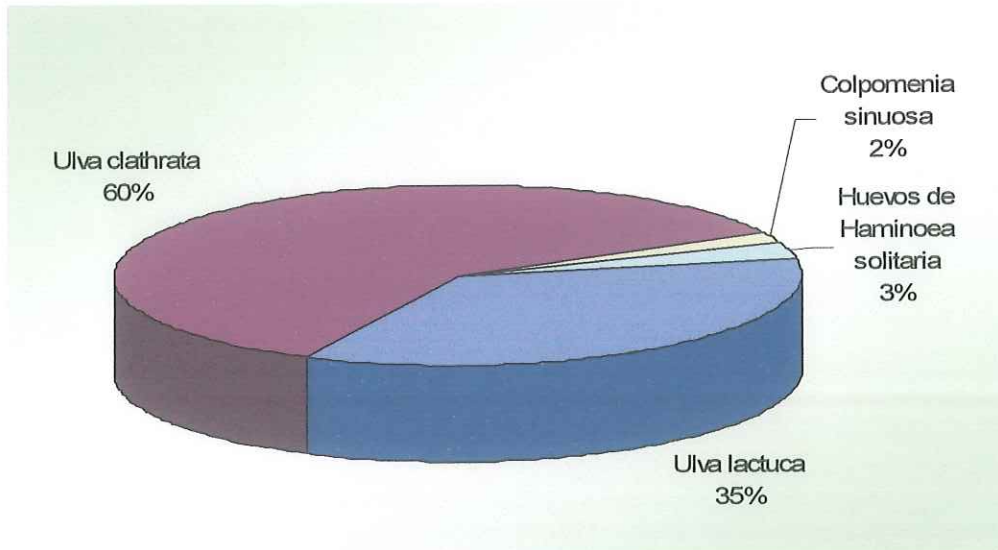


Figura 21. Gráfica de pastel obtenida con los porcentajes de cobertura registrados durante el tercer monitoreo.

Dentro de las especies encontradas durante este monitoreo, se encontró el gasterópodo *H. solitaria*, no se incluyó en la gráfica de pastel debido a que continuó en el estanque solamente ese organismo.



Figura 22. Muestra de *Ulva lactuca* fija en la llanta, fotografía tomada durante el tercer monitoreo.



Figura 23. Fotografía tomada durante el tercer monitoreo, muestra en la parte interna de la llanta la presencia de *Ulva clathrata*.

Con los datos de las tablas II, III y IV que fueron obtenidos durante los tres muestreos del experimento se realizó la Figura 24 donde se observa la variación en especies mensual durante el experimento.

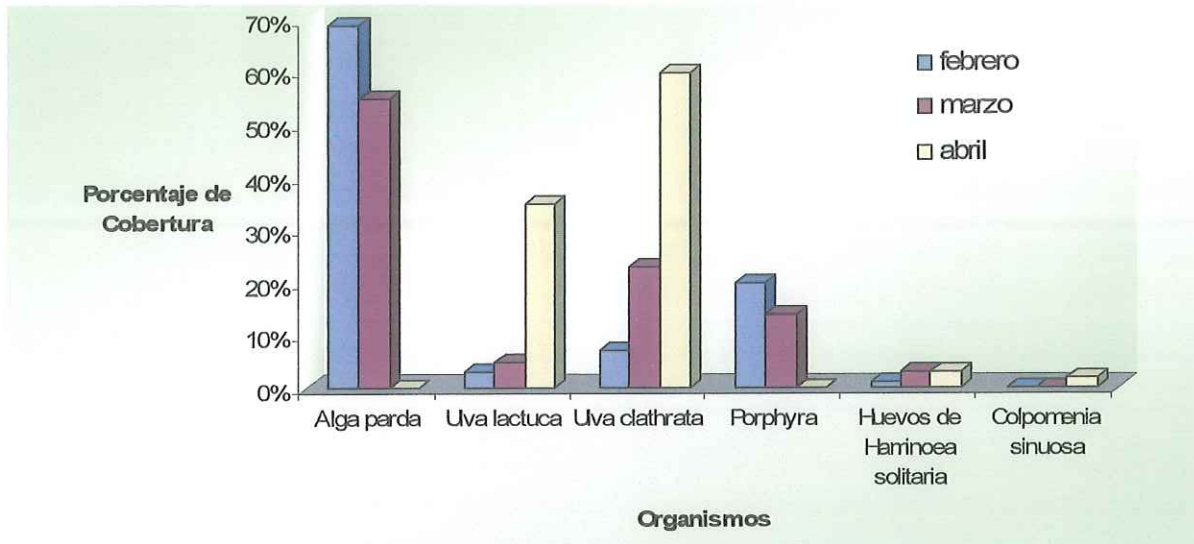


Figura 24. Gráfica de variación mensual de porcentaje de cobertura de las especies registradas durante el experimento.

Experimento 3: Atracción y susceptibilidad de fijación en el medio natural.

Inicialmente se planeo revisar la estructura arrecifal mensualmente, sin embargo las condiciones de tiempo impidieron localizar el elemento. Durante el monitoreo del mes de abril se fotografiaron las estructuras y en estas fotos se puede observar un cangrejo rey (*Paralithodes camtschaticus*, Figura 25), un erizo morado (*Strongilocentratus purpuratus*, Figura 26) y la presencia de gorgonios, *Muricea fruticosa* (Figura 27).

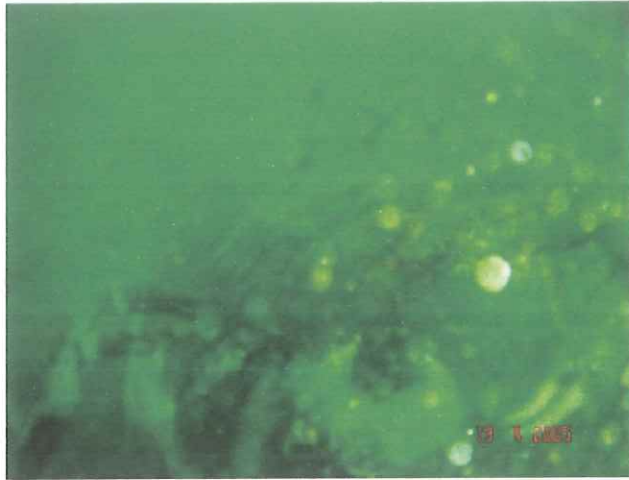


Figura 25. Cangrejo Rey (*Paralithodes camtschaticus*) fotografiado durante el monitoreo a la estructura en ambiente natural, tomada el día 19 de Abril de 2005.



Figura 26. Erizo morado fotografiado durante el monitoreo del mes de abril a la estructura en ambiente natural.



Figura 27. Gorgonios (*Muricea fruticosa*) presentes durante el muestreo del mes de abril cercano a las estructuras colocadas en el medio natural.

En el monitoreo realizado el día 13 de Mayo del 2005, se encontraron zonas de la superficie de las llantas cubiertas por gorgonios, *Muricea fruticosa*; al registrar mediante fotografía submarina se pudo observar gran parte de la superficie de la llanta cubierta por gorgonios (Figura 28).



Figura 28. Fotografía Submarina de la superficie de la estructura sumergida frente a las costas de Punta Morro.

Al ir revisando las estructuras se encuentran pegadas a la superficie lateral de las llantas organismos como estrellas de mar (Figura 29), erizos y algunos organismos que utilizan la estructura como zona de refugio.



Figura 29. Estrellas de mar que utilizan la estructura a base de llantas como sustrato de fijación.

Una vez que, una de las llantas fue extraída para tomar fotos y observar detenidamente como se encontraba, la mayoría de los organismos se desprendieron en el recorrido hacia la embarcación. Ya en la embarcación se observó la presencia de gorgonios, *M. fruticosa* (Figura 30), algunos anélidos (Figura 31). Posteriormente las llantas fueron regresadas al lugar donde fueron instaladas nuevamente (Figura 32). Debe notarse que la estructura recuperada en este muestreo presentó flotabilidad negativa, lo que indica que el aumento de la biomasa en las ranuras de su superficie de la llanta, lograda aproximadamente en 6 meses, incrementó el peso suficientemente para que la llanta dejara de flotar.



Figura 30. Fotografía en donde se muestra la presencia de gorgonios, *Muricea fruticosa* fijas en la superficie de las llantas.



Figura 31. Anélidos presentes en la superficie de la llanta.



Figura 32. Muestra del momento donde las llantas son regresadas e instaladas de nuevo junto a las demás.

En el último muestreo, realizado el día 03 de junio del 2005, se encontraron de nuevo estrellas de mar (*P. miniata*) (Figura 33), anélidos (Figura 34), gorgonios, *M. fruticosa* (Figura 35), cangrejos (Figura 36), moluscos (Figura 34) e incluso en la parte interior de la llanta que se encontraba llena de sedimento se encontró un camarón juvenil (Figura 37) y algunos peces pequeños que utilizan a la llanta como refugio (Figura 33).



Figura 33. Estrella de mar encontrada dentro de la llanta durante el tercer monitoreo.



Figura 34. Fotografía que muestra los moluscos, anélidos y gorgonios, *Muricea fruticosa* comunes de la región fijados a la superficie de la llanta el día 05 de junio.



Figura 35. Fotografía submarina de los gorgonios, *Muricea fruticosa* es tomada durante el último monitoreo.



Figura 36. Cangrejo encontrado en la estructura durante el monitoreo del 03 de junio del 2005.



Figura 37. Camarón juvenil encontrado en el interior de la llanta en el tercer monitoreo.

Peso de biomasa

Se contabilizó la cantidad de materia orgánica, tanto de algas como de organismos al final del experimento que estuvieron fijos en la superficie de la llanta, tanto en el laboratorio como en el campo. La llanta en el laboratorio presentó un peso agregado húmedo de 250 gr., mientras que el peso agregado de materia orgánica en el campo fue de 100 gr., con una diversidad de organismos menor que en el laboratorio, al contener básicamente gorgonios, *M. fruticosa* (Figura 30 y 34) y anélidos (Figura 31) sin contar las especies transitorias como estrellas de mar (Figura 29), crustáceos (Figura 36) y peces que se encontraron en el sitio, a los 11 metros de profundidad.

DISCUSIÓN

La construcción del arrecife con cualquier material crea hábitat en donde prolifere la vida marina, el hacerlo de llantas de desecho, provoca un uso adecuado de material de poco uso en tierra el cual es considerado un peligro latente. La alternativa propuesta para la utilización de este material, potencializaría las capacidades pesqueras locales, mediante la formación de zonas de pesca, incentivando con ello tanto la industria turística como la pesquera (Collins *et al.*, 2002).

El utilizar las llantas como materia prima para la construcción de un arrecife artificial cuenta con grandes ventajas, como lo son: la facilidad de obtención de una llanta de desecho, el bajo costo que presenta generar una estructura a base de llantas de desecho, además de que este material tarda muchos años en degradarse ya que bajo el agua se encuentra en un ambiente químico estable, protegido de los rayos ultravioleta y no presenta lixiviación (Collins *et al.*, 2002). Las llantas son un material que es utilizado exitosamente alrededor del mundo, esto se debe a que no son tóxicos, durable y de gran disponibilidad. Dentro de los países que lo utilizan son: Estados Unidos, Australia (Pickering *et al.*, 1998; Branden *et al.*, 1994), Jamaica y las Filipinas (Collins, *Et al.*, 2002).

Cuando se realiza un estudio acerca del impacto ambiental en el ecosistema, la clave es estudiar el crecimiento de organismos sobre la superficie de la llanta de desecho

y no en la fauna móvil, como lo indica Collins *et al.* (2002). De aquí el hecho del enfoque hacia la aceptación o rechazo de los organismos a la utilización de la superficie de la llanta de desecho como sustrato.

Esto se observa claramente en el transcurso del experimento tres ya que al remover la estructura, para sacarla a la superficie para contabilizar, muchos organismos que se encontraban utilizando la estructura se desprendieron en el trayecto del fondo a la superficie; esto se refleja en la cantidad de biomasa registrada para la estructura colocada en el mar (100gr.) la cual debería ser mayor a 250 gr. Que son los registrados en el laboratorio.

Con los resultados que arrojó el experimento 1 se comprueba que el material de la llanta de desecho es aceptado positivamente por los organismos, además, que bajo un ambiente hostil no hay aun ningún efecto evidente presente en los organismos bajo su influencia, como se registra en los datos de la Tabla I y al observar la Figura 7, más del 60% de los organismos utilizaron a la llanta como sustrato para la fijación. El que no se presentara mortalidad de ningún organismo durante este experimento indica los pocos efectos que existen durante el tiempo expuesto al material lo que indica que puede utilizarse como sustrato para crear un arrecife artificial. Un estudio paralelo a este trabajo (Gutiérrez-Villanueva, comunicación personal) indica que la acumulación de metales en organismos bajo condiciones hostiles de presencia de llantas y polvo de

llantas no es significativa, de acuerdo a las normas de calidad de agua del Estado de Baja California.

Como era de esperarse, al transcurrir el primer mes de iniciado el experimento 2, la aparición de flora fija en la superficie de la llanta era escasa, un elemento importante para que los organismos utilicen el substrato artificial es necesario que transcurra una cantidad de tiempo considerable, como lo indica Concha-Gonzalo (2004). Esto se corrobora con lo dicho en Ceccaldi (1998) que toda superficie virgen inmersa, de consistencia sólida, está en una primera etapa recubierta por bacterias. Aunque poco visible, este fenómeno no es simple, porque varias poblaciones de estas bacterias se suceden allí.

Sin embargo, conforme se realizaron los monitoreos mensuales, la cantidad de especies y el porcentaje de cobertura de cada una había aumentado notablemente, haciendo cada vez menor la superficie descubierta de la llanta. La única variante a través de los monitoreos fue el crecimiento de las especies y la sustitución entre especies de algas, ya que no se filtro la luz en los tanques. El que no se haya filtrado luz en los tanques simula las condiciones que se presentan en la zona intermareal que es donde hay mayor cantidad de especies de algas.

El crecimiento de algas sobre la superficie de la llanta presento una variación en las especies de manera estacional, de ahí el que algunas algas se encontraron durante el

invierno y al entrar la primavera, por el aumento en la temperatura del agua, estas desaparecieron y fueron sustituidas por otras especies de algas que aparecen favorecidas por el mismo aumento en la temperatura del agua (Pacheco-Ruiz y Aguilar-Rosas, 1984; Aguilar-Rosas *et al.*, 1986; Pacheco-Ruiz *et al.*, 1986).

Gracias a que durante la etapa final del experimento, el porcentaje de cobertura de la superficie expuesta de la llanta era del 100% e incluso algunos organismos empezaban a fijarse sobre lo ya sujeto a la superficie de la llanta empezando esto a generar un micro ecosistema, así, se puede proponer, que los organismos aceptaron a la llanta de desecho como sustrato, no presentando ningún efecto negativo evidente ya que no se presentó mortalidad de organismos, solamente variación de las especies de algas debido a los cambios estacionales lo cual ocurre en el medio natural dentro de la Bahía de Todos Santos (Pacheco-Ruiz y Aguilar-Rosas, 1984; Aguilar-Rosas y Pacheco-Ruiz, 1986; Pacheco-Ruiz *et al.*, 1986).

Con el experimento 3 se reiteran los resultados del experimento en los tanques, comprobando que en un ambiente natural la aceptación de los organismos del sustrato artificial y la susceptibilidad que éste presenta a la fijación de cualquier organismo. Cabe denotar que la luz en una profundidad de 11 metros y latitudes de es atenuada considerablemente, con referencia a la secuenciación encontrada en los tanques de laboratorio, así que las especies encontradas no son comparables, sin embargo, se desea destacar la calidad del sustrato en lugar de comparación entre la diversidad y

abundancia. Como lo encontrado por Balduzzi *et al.* (1987) en la reserva submarina de Mónaco, que en un arrecife a aproximadamente 8 metros de profundidad la inmensa mayoría de las poblaciones están constituidas por algas favorecidas por una iluminación fuerte. Y al transcurrir el tiempo otros organismos se fijan sobre las algas, originando una estratificación de las poblaciones de forma similar a lo ocurrido durante el periodo de monitoreo de las estructuras y la llanta de desecho en tanque.

Existen también, algunos problemas en la utilización de las llantas como elementos para generar Arrecifes Artificiales (AR), a pesar de que las llantas son elementos duraderos y difícilmente fuente de contaminación química, su característica de flotabilidad le da un riesgo potencial de contaminación visual cuando las estructuras se diseñan estas son puestas a la deriva, con destino final en las playas de la región, por procesos de corrientes marinas, oleaje o tormentas. Considerando que un arrecife de 100 x 5 x 5 metros (largo, ancho y alto, respectivamente) podría contener 10000 llantas de desecho, un accidente en la costa proveería un escenario poco afortunado. Sin embargo, como se demostró en el experimento del medio natural (3), las llantas con el paso del tiempo pierden boyanza de manera que con una buena planeación del lugar idóneo para la colocación de la estructura, combinada con una buena ejecución de la obra civil de la estructuras, podría reducir significativamente el riesgo de esta contingencia.

La cantidad de biomasa presente en ambos experimentos (laboratorio y campo) indica que las llantas de desecho son aceptadas por una serie organismos, lo cual genera

una diversidad de organismos donde la estructura es colocada. Sin embargo, en el experimento de campo se esperaba una mayor cantidad de biomasa ya que en ellas se presentaron mayor diversidad de organismos pero debido a que los conteos fueron realizados en la superficie, muchos de los organismos móviles y frágiles se desprendieron de la estructura en el trayecto hacia la superficie. Con esto, se puede indicar que las llantas de desecho son un material óptimo y que es aceptado por los organismos para la generación de un arrecife artificial.

CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos se pueden elaborar las siguientes conclusiones generales:

- ✓ La llanta de desecho es un material que es atractivo y positivamente utilizado por los organismos marinos para fijarse y no representa un medio evidente de daño hacia organismos que se encuentren en su presencia.

- ✓ Este material presenta aceptación y afinidad, entre la flora y fauna que se encuentra en la columna de agua.

- ✓ Las llantas de desecho pueden ser utilizadas favorablemente para la creación de arrecifes artificiales, presentando grandes ventajas debido a su bajo costo y la gran disponibilidad de material y sin causar impacto ambiental en la flora y fauna relacionada con este, ya que no se presenta mortalidad evidente de los organismos que se fijan a ella.

BIBLIOGRAFÍA

- Abelson, A., & Denny, M., (1997). Settlement of marine organisms in flow. *Annual Reviews*, 28;, 317–339.
- Aguilar-Rosas, L.E., Pacheco-Ruiz, I., 1986. Variaciones estacionales de las Algas Verdes (CHLOROPHYTA) de la costa Norooccidental de la Península de Baja California. *Revista de Ciencias Marinas*. 12(1); 73-78.
- Ambrose, R.F., Swarbrick, S.L., 1989. Comparison of fish assemblages on artificial and natural reefs off the coast of southern California. *Bull. Mar. Sci.* 44, 718–733.
- Ambrose, R. F., (1994,) Mitigating the effects of a coastal power plant on a kelp forest community: rationale and requirements for an artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 55(2/3), 694-708.
- Bailey-Brock, J. H., (1989). Fouling community development on an artificial reef in Hawaiian waters. *Bulletin of Marine Science*, 44, 580–591.
- Baine, M., (2001). Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44, 241–259.

- Berger, T. L. 1993. Artificial reef bibliography, a reference guide. Artificial Reef Development Center, 1010 Massachusetts Avenue, NW, Washington, DC, 2001. 278 pp.
- Bohnsack, J. A. 1990. Habitat structure and the design of artificial reefs. *In* Habitat Structure: The Physical Arrangement of Objects in Space, pp. 412–426. Ed. by S. Bell, E. McCoy, and H. Mushinsky. Chapman and Hall, New York.
- Bohnsack J.A., Sutherland D. L., (1985), Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *B Mar Sci* 37:11–39.
- Bohnsack, J. A., Johnson, D. L., & Ambrose, R. F., (1991,). Ecology of artificial habitats and fishes. *In* Artificial habitatshabitats for marine and freshwater fisheries (pp. 61–99). New York: Academic Press.
- Bohnsack, J. A., Ecklund, A. M., & Szmant, A. M., (1997,). Artificial reef research: Is there more than the attraction-production issue? *Fisheries*, 22, 14–16.
- Bombace, G., (1997), Protection of biological habitatshabitats by artificial reefs. *In* European Artificial Reef Research. Proceedings of the first EARRN conference, March 1996 Ancona, Italy, ed. A. C. Jensen, pp. 1-15. Southampton Oceanography Centre, Southampton.
- Bombace, G., Fabi, G., and Fiorentini, L., (1993,) Census results on artificial reefs in the Mediterranean Sea. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 11(24), 257-263.
- Bombace, G., Fabi, G., Fiorentini, L., Speranza, S., 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic Sea. *Bull. Mar. Sci.* 55, 559–580.
- Branden, K. L., Pollard, D. A. and Reimers, H. A., (1994,) A review of recent artificial reef developments in Australia. *Bulletin of Marine Science* 55(2-3), 982-994.

- Carr, M. H., & Hixon, M. A., (1997,). Artificial reefs: The importance of comparisons with natural reefs. *Fisheries*, 22:28–33.
- Cecich, V., L. Gonzalez, A. Hoisaeter, J. Williams, y K. Reddy, (1996), Use of shredded tires as light weight backfill material for retaining structures. *Waste Management and Research* 14, 433-451
- Clark, S., and Edwards, A. J., (1994,) Use of artificial reef structures to rehabilitate reef flats degraded by coral mining in the Maldives. *Bulletin of Marine Science* 55(2-3), 724-744.
- Clark, S., & Edwards, A. J., (1999),. An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem*, 9, 5–21.
- Coastal Artificial Reef Planning Guide, (1998),. The Joint Artificial Reef Technical Committee of the Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions.
- Collins, K. J., and Jensen, A. C., (1995,) StabilisedStabilized coal ash reef studies. *Chemistry and Ecology* 10, 193-203.
- Collins, K. J., Jensen, A. C., and Albert, S., 1995,. A review of waste tyre tire utilisationutilization in the marine environment. *Chemistry and Ecology*, 10: 205–216.
- Collins, K. J., Jensen, A. C., Robert, P., and Rajan, J. B., (1995) Artisanal artificial reefs in Kerala, S. India. In *Proceedings of ECOSET'95*, Tokyo, October 29-November 2 1995, pp. 703-707. Japan International Marine Science and Technology Federation, Vol. 2.
- Collins, K.J., Jensen, A.C., Mallinson, J.J., Roenelle, V., and Smith, I.P. 2002. Environmental impact assessment of a scrap tyre tire artificial reef. *-ICES Journal of Marine Science*, 59: S243-S249.

- Connell, S. D., & Jones, G. P., (1991.). The influence of habitat complexity on postrecruitment processes in a temperate reef fish population. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 151, 271–294.
- Connell, J. H., & Slatyer, R. O., (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111, 1119–1144.
- Cummings, S. L., (1994.). Colonization of a nearshore artificial reef at Boca Raton (Palm Beach County) Florida. *Bulletin of Marine Science*, 55, 1193–1215.
- Debernardi, E., and Allemand, D., (1993), Zones protegees sur le litoral de la Principaute de Monaco. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 11(3/4), 173-182.
- DeMartini, E.E., Roberts, D.A., Anderson, T.W., 1989. Contrasting patterns of fish density and abundance at an artificial rock reef and a cobble-bottom kelp forest. *Bull. Mar. Sci.* 44, 881–892.
- Eldin, N. N., and Senouci, A. B. 1992. Use of scrap tyre in road construction. *Construction Engineering Management*, 113: 561–576.
- Eklund, A., 1996. The effects of post-settlement predation and resource limitation on reef fish assemblages. Dissertation. University of Miami, Miami, Florida, USA.
- EA. 1998. Tyres in the Environment. Environment Agency, Bristol. Environmental Issues Series, Nov. 1998. 47 pp.
- Fabi, G., and Fiorentini, L., (1996.) Molluscan aquaculture on reefs. In *European Artificial Reef Research. Proceedings of the first EARRN conference, March 1996 Ancona, Italy*, ed. A. C. Jensen, pp. 123-140. Southampton Oceanography Centre, Southampton.

- Fitzhardinge, R. C., & Bailey-Brock, J. H., (1989). Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. *Bulletin of Marine Science*, 44, 567–579.
- Grove, R. S., Sonu, C. J., and Nakamura, M. 1991. Design and engineering of manufactured habitats for fisheries enhancement. *In Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*, pp. 109–152. Ed. by W. Seaman Jr, and L. M. Sprague. Academic Press, San Diego, CA. 285 pp
- Guzmán, H. M., J. Campos; C. Gamboa; C Bussing (,1986)., Un Arrecife Artificial De Llantas: Su Potencial Para El Manejo De Pesquerías, Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) y Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, pags. 249-254.
- Hixon, M. A., and Beets, J. P. 1989. Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bulletin of Marine Science*, 44: 666–680.
- Jensen, A. C., Collins, K. J., Lockwood, A. P.M., Mallinson, J. J., and Turnpenny, A. H. (1994) Colonisation and fishery potential of a coal waste artificial reef in the United Kingdom. *Bulletin of Marine Science* 55(2-3), 1242-1252.
- Jenish, D. (1990) A balancing act. *Macleans's* 103, 50,51
- Laufle, J. C. 1982. Biological development and materials comparisons on a Puget Sound artificial reef. Washington State Dept. of Fisheries, Technical. Report 72. 183 pp.
- McGurrin, J. 1988. A profile of Atlantic artificial reef development. Atlantic States Marine Fisheries Commission Special Report 14. 153 pp.

- Milon, J. W. (1991.) Social and economic evaluation of artificial aquatic hábitats. In Artificial Hábitats for Marine and Freshwater Fisheries, eds. W. Seaman, Jr. and L. M. Sprague, pp 237-270. Academic Press, San Diego.
- Mottet, M. G. 1985. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. *In Artificial Reefs, Marine and Freshwater Applications*, pp. 13–112. Ed. By F. M. D'Itri. Lewis Publishing, Chelsea, MI, USA.
- Oren, U., & Benayahu, Y. (1997). Transplantation of juvenile corals: a new approach for enhancing colonization of artificial reefs. *Marine Biology*, 127, 499–505.
- Palmer-Zwahlen, M. L., & Aseltine, D. A. (1994). Successional development of the turf community on a quarry rock artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, 55, 920–923.
- Pacheco-Ruiz, I., Aguilar-Rosas L.E. (1984). Distribución Estacional de Rhodophyta en el noroeste de Baja California. *Revista de Ciencias Marinas*. 10(3); 67-80.
- Pacheco-Ruiz, I., Aguilar-Rosas L.E, (1986). Variación estacional de biomasa y observaciones ecológicas en *Porphyra perforata* J.AG. (RHODOPHYTA, BANGIALES) en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Revista de Ciencias Marinas*. 12(3); 62-69.
- Perkol-Finkel, S., & Benayahu, Y., (2004). Community structure of stony and soft corals on vertical unplanned artificial reefs in Eilat (Red Sea): Comparison to natural reefs. *Coral reefs* (in press).
- Perkol-Finkel, S., & Benayahu, Y., (2005). Recruitmnet of benthic organisms onto a planned artificial reef: shifts in community structure one decade post-deployment. *Marine Environmental Research* 59 (2005) 79-99.

- Pickering, H., Whitmarsh, D., & Jensen, A., (1998). Artificial reefs as a tool to aid rehabilitation of coastal ecosystems: Investigating the potential. *Marine Pollution Bulletin*, 37, 505–514.
- Relini, G., Dinelli, G., and Sampaolo, A., (1994.) Stabilised coal ash studies in Italy. *Chemistry and Ecology* 10, 217-232.
- Rilov, G., & Benayahu, Y. (1998). Vertical artificial structures as an alternative habitat for coral reef fishes in disturbed environments. *Marine Environmental Research*, 45, 431–451.
- Rilov, G., & Benayahu, Y. (2000). Fish assemblage on natural versus vertical artificial reefs: The rehabilitation perspective. *Marine Biology*, 136, 931–942.
- Rong-Quen, J., Effects of pile size of artificial reefs on the standing stocks of fishes. 2003. *Fisheries Research* 63(2003) 327-337.
- Santaella, E. and Revenga, S. (1993). Artificial reefs and marine reserves. Implementation of the objectives from multi-annual guidance programmes 1987-1991 and 1992-1996. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 11(3/4), 165-172.
- Seaman, W., & Jensen, A. C. (2000). Purposes and practices of artificial reef evaluation. In W. Seaman (Ed.), *Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats* (pp. 2–19). Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Segovia-Zavala, A., Delgadillo-Hinojosa, F., Vidal-Talamantes R., Muñoz-Barbosa A., Gutierrez-Galindo E.A. 2003. *Mytilus californianus* transplantedos como bioindicadores de surgencia a dos zonas en Baja California. *Ciencias Marinas* 29(4B), pp. 665-675.

- Sheng, Y. P. (2000). Physical characteristics and engineering at reef sites. In W. Seaman (Ed.), *Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats* (pp. 51–94). Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Sogard, S. 1989. Colonization of artificial seagrass by fishes and decapod crustaceans: importance of proximity to natural eelgrass. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 133: 15–37.
- Spanier, E., and Almog-Shtayer, G., (1992) Shelter preferences in the Mediterranean Slipper lobster: effects of physical properties. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 164, 103-116.
- Stanley, D. R., and Wilson, C. A., (1990). A fishery dependant based study of fish species composition and associated catch rates around oil and gas structures off Louisiana. *Fisheries Bulletin* 88, 719-730.
- Stanton, G., Wilber, D., and Murray, A. 1985. Annotated bibliography of artificial reef research and management. Florida Sea Grant College, Report No. 74. 275 pp.
- Stone, R. B. 1985. National Artificial Reef Plan. NOAA Technical Memorandum NFMS OF-6, U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C., Nov. 70.
- Stone, R. B., Coston, L., Hoss, D., and Cross, F., 1975. Experiments on some possible effects of tire reefs on pinfish and black sea bass. *Marine Fisheries Review*, 37: 18–20.
- Stone, R. B., McGurrin, J. M., Sprague, L. M., and Seaman, W. Jr., (1991). Artificial habitats of the world: synopsis and major trends. In *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*, eds. W. Seaman, Jr. and L. M. Sprague, pp 31-60. Academic Press, San Diego.

- Svane, I. B., & Petersen, J. K., (2001). On the problems of epibiosis, fouling and artificial reefs, a review. *Pubblicazioni Della Stazione Zoologica Di Napoli I: Marine Ecology*, 33, 169–188.
- Wendt, P. H., Knott, D. M., & Van Dolah, R. F., (1989). Community structure of the sessile biota on five artificial reefs of different ages. *Bulletin of Marine Science*, 44, 1106–1122.
- Wilson, C. A. and Van Sickle, V. R., (1987). Development of the Louisiana artificial reef programme. *Bulletin of Marine Science* 44(2), 1071-1072.
- Wilhelmsson, D., Ohman, M. C., Stahl, H., & Shlesinger, Y., (1998). Artificial reefs and dive tourism in Eilat, Israel. *Ambio*, 27, 764–766.
- Woodhead, P. M. J., Parker, J. H., and Duedall, I. W., (1986). The use of by-products from coal combustion for artificial reef construction. In *Artificial Reefs-Marine and Freshwater Applications*, ed. F. M. D'Itri, pp. 265-292. Lewis Publications, Chelsea, Michigan, USA.

