



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación

Evaluación de estrategias de manejo arrecifal en Akumal, Q.Roo: Disturbios antropogénicos y enfermedades coralinas

Tesis que presenta

Mariana Mata Lara

Para obtener el grado de

Licenciada en

Manejo Sustentable de Zonas Costeras

Facultad de Ciencias

UNAM

Director de Tesis: Dr. Rodrigo Garza Pérez

Sisal, Yucatán, México

Diciembre · 2012



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN ESPACIAL
EN AMBIENTES COSTEROS Y MARINOS
UNAM-SISAL, FAC. DE CIENCIAS, UNAM
PREVENCIÓN ESPACIAL, SUS Y PERCEPCIÓN REMOTA





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Alumna

Mariana Mata Lara

Tel. (55) 55-30-33-25

Lic. Manejo Sustentable de Zonas Costeras, Facultad de Ciencias. Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UMDI-UNAM).

305671028

Datos Jurado

Presidente

Dr. Rodolfo Rioja Prieto

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Vocal

Dr. Héctor Reyes Bonilla

Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS).

Secretario

Dr. Rodrigo Garza Pérez

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

SuplenteDra. Laura Hernández
Terrones

Unidad Ciencias del Agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán, sede Quintana Roo.

SuplenteLic. Miguel Ángel
MaldonadoCentro Ecológico Akumal

*Pero cuando amanece
en la playa larga y solitaria,
cuando el sol comienza a acariciar
las dunas y las olas,
cuando las gaviotas y los peces
saludan jubilosos el despertar de la mañana,
entonces el mar, mi mar,
me habla de emociones contenidas
mientras mis pasos presurosos
interrumpen el cristal claro de las aguas
en las orillas de la playa.*

*Entonces me hago de sueños
y dejo acunar los sentimientos dormidos
en cada paso, en cada huella
de aguas y de arenas. Entonces
mi canto es un canto de peces y gaviotas,
de barcos que faenan a lo lejos,
de bancos de sardinas o jureles
que buscan su amor desesperado.*

*Y mis pasos, que el agua borra
pero que guarda la arena dorada,
son versos de esperanza
que voy lanzando a los vientos,
al agua, a las olas, a las gaviotas...
a todo lo que añoro y lo que amo.*

- LUIS E. PRIETO -

Agradecimientos

- Agradezco a la Dirección General de Asuntos Académicos (DGAPA) por el financiamiento al proyecto PAPIME 100910 "*Real Reefs: Plataforma digital de entrenamiento para evaluación de arrecifes coralinos*", así como por la beca de tesis brindada bajo el mismo proyecto PAPIME PE100910.
- Agradezco al Programa de Investigación Espacial en Ambientes Marinos y Costeros de la UMDI-Sisal, F. Ciencias, UNAM, por el apoyo y la capacitación que me permitieron realizar este trabajo.
- Agradezco al Centro de Investigación Científica de Yucatán, y a la Directora de la Unidad de Ciencias del Agua, Quintana Roo, la Dra. Laura Hernández por proporcionarme información del proyecto interno 1038900002.
- Agradezco a Paul Sanchez, Director del Centro Ecológico Akumal y a Gerardo Orozco del Dive Center Akumal por todas las facilidades y apoyos brindados para la realización de esta investigación.
- Agradezco al director de mi tesis, el Dr. Joaquín Rodrigo Garza Pérez por guiarme, apoyarme y formarme a lo largo de mi licenciatura, así como por su constante apoyo y confianza tanto académica como personal.
- Agradezco al comité de evaluación de tesis: Biol. Miguel Ángel Maldonado, Dr. Héctor Reyes Bonilla, Dra. Laura Hernández Terrones y el Dr. Rodolfo Rioja por su tiempo, apoyo y conocimiento brindado.
- Agradezco a los profesores de la licenciatura que contribuyeron a mi formación como manejadora.
- Y por último a la máxima casa de estudios de México, la UNAM, por ser orgullosamente parte de ella.

Agradecimientos personales

A mi hermosa y maravillosa familia sin los cuales nada de esto hubiera sido posible. No hay palabras para agradecer todo el apoyo, amor, cariño y felicidad que me han brindado incondicionalmente. Los admiro y amo, gracias por ser mi inspiración.

A mi Inti y a TODA su familia por haberme adoptado y brindado tanto apoyo y cariño estos años. Gracias por hacerme sentir como en casa.

A todos los que me dejaron una huella a lo largo de mi licenciatura: Migue, Chiva, Deivid y Yaz por su amistad, su apoyo y tan buenas pláticas que siempre me nutrieron. A Ana Paula, mi guachafita, por ser esa persona tan especial que se volvió parte de mi familia. A Pablo, Oscar, el Portuga, Neska y Toño por los bonitos y divertidos momentos. Y por supuesto Nuno y Mai, gracias por seguir alimentándome aún ya no siendo mis profesores.

A todos mis compañeros de la licenciatura por haber compartido este cachito de la carretera. Espero y estoy segura que nos volveremos a encontrar.

A la gente de Sisal que fue parte de mi vida en ese hermoso pueblo, en especial a Pelayo por su gran corazón y a Lorenzo por habernos acogido en el Comanche.

A mis mejores amigos Ana R. y D. Calvo que siempre han estado a mi lado en las buenas, las malas, divertidas, aburridas, cercanas, lejanas, y todo tipo de historias y momentos. Gracias por ser parte de mi vida.

Y por último, a toda la gente de Ensenada que hizo de mi intercambio una experiencia inolvidable.

Resumen

Se evaluó el estado de condición del arrecife de Akumal, Quintana Roo en el 2010 definiéndolo como “crítico”, en base a la baja riqueza de especies coralinas, baja cobertura de corales, la dominancia de macroalgas, la ausencia casi total de corales raros y dominancia de especies coralinas oportunistas, la poca existencia de corales grandes, y la alta mortalidad reciente de tejido, aunado a los registros de enfermedades de ese año. Esta evaluación encontró que el 2.8% de los corales presentaron algún tipo de lesión. La enfermedad coralina con mayor número de registros fue la enfermedad de Banda Amarilla representando un 41.98% de las lesiones encontradas. En base a datos de calidad de agua se pudo identificar que la cantidad de nitratos que penetran tanto en la bahía de Akumal, como en la laguna de Yalkú aumenta en un 978% en temporada de lluvias con respecto a la temporada de secas. Esto sugiere que las lluvias acarrear nutrientes potencialmente antropogénicos hacia el manto freático, el cual descarga finalmente en el océano.

Paralelamente, se analizó el plan de manejo del área marina frente a las bahías de Akumal, “Programa comunitario de Ordenamiento marino de las Bahías de Akumal (POBAk)”, el cual presenta una zonificación adecuada; sin embargo las estrategias que implementan están enfocadas principalmente a la regulación del uso directo de las bahías, sin ser lo suficientemente inclusivas del resto de los demás componentes del ecosistema arrecifal, y viéndose de este modo carente de estrategias enfocadas específicamente a la protección del arrecife de los efectos de las actividades humanas en la costa, lo que dificulta su conservación y restauración. Por tanto, se identificaron necesidades que se recomienda considerar para poder cumplir los objetivos del programa satisfactoriamente.

La mayor problemática que enfrenta el área es un ineficiente tratamiento de aguas residuales. Urge tomar acción ya que de otra manera los esfuerzos de protección y mejoramiento en la zona serán en vano.

Índice

Lista de Figuras	12
Lista de Tablas	13
1.- Introducción	15
2.- Marco teórico	22
2.1.- Caracterización de comunidades bentónicas	22
2.2.- Estado de condición	23
2.3.- Enfermedades coralinas	25
2.4.- Calidad de agua	26
2.5.- Estrategias de manejo	28
3.- Antecedentes	35
3.1.- Estado de condición arrecifal en Akumal, Quintana Roo.	35
3.2.- Programa comunitario de ordenamiento marino de las bahías de Akumal, Q.Roo, México (POBAk)	37
4.- Justificación	38
5.- Hipótesis	39
6.- Objetivo general	39
7.- Objetivos particulares	39
8.- Área de estudio	40
9.- Metodología	42
9.1 Enfermedades coralinas	42
9.2 Evaluación de Estado de Condición.	43
9.3 Evaluación de Estrategias	43
10.- Resultados	45
10.1 Enfermedades coralinas	45
10.2 Estado de condición arrecife de Akumal	47
10.3 Calidad de agua	51

10.4 Análisis del POBAk y el CEA en base a indicadores socioeconómicos y de gobernabilidad	53
10.5 Análisis del POBAk	57
10.6 Necesidades identificadas para el cumplimiento de los objetivos del POBAk	69
11.- Discusión	71
11.1 POBAk	71
11.2 Cobertura bentónica, enfermedades presentes y comunidad íctica del arrecife de Akumal.	73
11.3 Calidad de Agua	76
11.4 Estrategias para cubrir las necesidades identificadas	81
12.- Conclusiones	86
13.- Recomendaciones	87
14.- Anexos	88
15.- Bibliografía	115

Lista de Figuras

- [Figura 1.](#) Ubicación espacial de Akumal, Quintana Roo. *imagen modificada de Lang (2003). 39
- [Figura 2.](#) Área de protección del POBAk y red de estaciones de muestreo. El polígono de puntos representa el polígono que abarca el POBAk, mientras que los puntos naranjas son las estaciones donde se realizaron análisis de enfermedades. 40
- [Figura 3.](#) Enfermedades presentes en el arrecife de Akumal en los años 2009 y 2010. 44
- [Figura 4.](#) Cobertura de Macroalgas, Corales y registros de enfermedades totales por estación en Akumal, Quintana Roo en el año 2010. 45
- [Figura 5.](#) Porcentajes de grandes grupos funcionales encontrados en el arrecife de Akumal, Quintana Roo. 46
- [Figura 6.](#) Gráfica de barras en orden de presencia de las enfermedades y lesiones encontradas en el arrecife de Akumal, Quintana Roo. 48
- [Figura 7.](#) Diferencia de salinidad en temporada de secas y lluvias en las estaciones establecidas por el CICY para el área de la laguna de Yalkú, Bahía Akumal Norte y Sur. 51
- [Figura 8.](#) Mapa de zonificación general del área propuesta bajo ordenamiento. Al interior de la Bahías y Caleta de Yal-ku se define una sub-zonificación. Tomada del POBAk. 57
- [Figura 9.](#) Área bajo ordenamiento. La línea blanca delimita los polígonos que, incluyendo la Zona Federal Marítimo Terrestre, representan una superficie total de 1635.3 hectáreas (16.353 km²). (Imagen tomada del POBAk). 63
- [Figura 10.](#) Diagrama de flujo para la creación de un sistema de manejo holístico de información, propuesto por Done & Diop (1999) tomado de Garza Pérez (2004). 70
- [Figura 11.](#) Comparación de la cobertura coralina y de macroalgas a lo largo de 15 años. Datos obtenidos de Gutiérrez-Carbonel et al. 1995, Garza-Pérez 1999, 2004, Garza-Pérez et al. (no publicado) & Garza-Pérez et al. 2011. 71
- [Figura 12.](#) Comparación de los grupos funcionales presentes en el año de 1999 y 2010 en el arrecife Akumal, Quintana Roo. 72
- [Figura 13.](#) Diagrama de decisiones para asistir el proceso de determinar cuál es el potencial natural de recuperación de un sitio degradado y cuáles son las medidas de restauración más apropiadas. Tomado de. Edwards & Gómez, 2007. 81

Lista de Tablas

Tabla 1. Indicadores propuestos por Pomeroy et al. (2004) para medir la efectividad del manejo de un área protegida	30
Tabla 2. Proceso de calificación de las cuatro categorías de indicadores propuestas en el Programa Ambiental para Centroamérica (2004).	31
Tabla 3. Monitoreo estacional de la calidad de agua en Akumal realizado por el CICY en 2009 y 2010.	48
Tabla 4. Diferencia estacional de cantidad de nitratos que ingresan en la parte oceánica de Akumal	49
Tabla 5. Porcentaje de cobertura del POBAk en aspectos socioeconómicos y de gobernabilidad.	51
Tabla 6. Indicadores tomados de SAM (2004).	52
Tabla 7. Indicadores tomados de SAM (2004).	52
Tabla 8. Evaluación de las propuestas de estrategias y reglamentaciones dirigidas a cumplir los objetivos del POBAk.	55
Tabla 9. Resumen de las actividades permitidas y prohibidas por el POBAk dentro de cada una de las zonas mencionadas anteriormente.	58
Tabla 10. Comparaciones de valores de biomasa reportados en el Caribe.	74
Tabla 11. Comparación temporal de concentraciones de nutrientes en dos arrecifes del Caribe.	75
Tabla 12. Comparación regional de concentraciones de nutrientes en dos arrecifes del Caribe mexicano.	77

1.- Introducción

El arrecife de coral es el ecosistema con mayor variedad de especies y además el más diverso del medio marino aunque ocupa menos del 10% de los fondos oceánicos. En él habitan miles de especies que representan, prácticamente, todos los grupos de organismos marinos existentes. Su diversidad es comprable a la de las selvas altas perennifolias, al igual que su complejidad y capacidad para dar soporte a la vida (Wilkinson 2002, Stone *et al.*, 2011). Es probablemente, el sistema más productivo del mundo en términos de biomasa (Hughes, 1989).

Desde la perspectiva humana la importancia de un arrecife de coral se define a partir de los beneficios económicos, sociales y culturales para las comunidades, los diferentes sectores productivos y los gobiernos a nivel mundial. Debido al amplio rango de servicios ecológicos que éstos aportan, constituyen una gran fuente de alimentación e importancia económica, con un gran potencial para un futuro desarrollo sustentable en varios países (Moberg & Folke, 1999).

Los arrecifes coralinos sanos tienen superficies fuertes y estructuras complejas que disipan mucha de la fuerza que las olas llevan consigo. Los arrecifes absorben más del 90% de la energía proveniente de las olas creadas por viento debido a sus características físicas y ecológicas (UNEP-WCMC, 2006). De este modo, los arrecifes son una zona de amortiguamiento para la costa, ya que la protegen del oleaje, de tormentas, daños y erosión.

Este ecosistema está asociado con otros, como pueden ser los pastos marinos o los bosques de manglar creando una sinergia ambiental. Un ejemplo es su asociación con los manglares bordeantes, ya que al tolerar un nivel relativamente más alto de nutrientes disueltos, éstos generan un ambiente productivo que provee hábitat a un amplio rango de organismos. El consumo de nutrientes por estos organismos ocasiona una desnitrificación en el agua; acción que se vuelve de gran ayuda para los arrecifes los cuales necesitan de ambientes oligotróficos para desarrollarse (MacKenzie, 2001).

En la interfase entre los ambientes arrecifales y los manglares, se pueden encontrar camas de pastos marinos, otro sistema altamente productivo que también elimina una cantidad significativa de nutrientes disueltos en el agua (MacKenzie, 2001). Tanto los bosques de manglar como las camas de pastos marinos, proveen refugio y alimento para una variedad de peces y otros organismos arrecifales en estadios juveniles, además de servir de áreas de criadero para los mismos. La función de estos ecosistemas para los arrecifes coralinos puede ser descrita entonces como la conversión de nutrientes líquidos a nutrientes sólidos antes de ser exportados a los arrecifes; es decir, la salida de nutrientes orgánicos al pasar por los manglares y pastos marinos es “convertida” en peces; pues proporciona fuente de alimento a diferentes especies creando un ambiente oligotrófico (MacKenzie, 2001).

Sin embargo, el sistema arrecifal coralino presenta una considerable fragilidad. Hay una larga lista de impactos humanos directos en los arrecifes de coral, cuyos orígenes locales tienen consecuencias globales como la contaminación del agua, la deforestación, la erosión de suelos, la sedimentación, las actividades turísticas mal implementadas y la sobreexplotación de sus recursos, pudiendo además provocar desequilibrios importantes. (Ginsburg, 1994; Done, 1999; Kramer *et al.* 2000). Indirectamente estos impactos vuelven a las especies arrecifales más vulnerables ante eventos catastróficos como huracanes, tormentas, aumentos en la temperatura del mar, o brotes de depredadores de coral (Done, 1988, 1999; Pittock, 1999 & Lirman *et al.* 2011) y si continúan sometidos a tanta perturbación, la resiliencia de los arrecifes será cada vez menor, y por tanto, habrá cambios severos en estos ecosistemas. Marshall & Schuttenberg (2006) plantean que estos cambios incluyen pérdida de diversidad biológica y cubierta coralina, así como pérdidas económicas para el sector pesquero y turístico a diferentes niveles. Cesar *et al.* (2003) estiman que el valor de “no uso” que los arrecifes de coral aportan a nivel mundial junto con el valor de investigación y conservación es de \$5.5 billones de dólares, en base al beneficio que aporta su biodiversidad.

Uno de los impactos antropogénicos más importantes es el enriquecimiento de nutrientes, el cual afecta la integridad de los ecosistemas de aguas dulces y costero-marinos en todo el mundo, especialmente en sistemas como los estuarios que pueden servir como trampas de nutrientes (Pastorok & Bilyard 1985, Szmant 2002). El flujo de ríos o canales subterráneos

provenientes del manto freático acarrean estos nutrientes y descargan en el océano alcanzando a permear los ecosistemas ahí inmersos; un ejemplo es la relación que se ha encontrado respecto a algunas enfermedades como la enfermedad de viruela blanca (white pox disease) cuyo agente que la ocasiona es un patógeno oportunista llamado *Serratia marcescens* el cual se encuentra en heces de humanos (Rosenberg & Kushmaro, 2011), y se ha sugerido que las malas prácticas de disposición de desechos pueden ser la causa del brote de enfermedades (Patterson-Sutherland & Richie, 2004); en este caso, la viruela blanca ha sido de las principales causas del declive del coral *Acropora palmata*, identificando a las descargas residuales como fuente de la enfermedad (Kaczmarzsky *et al.* 2005, Rosenberg & Kushmaro, 2011). Es lógico esperar entonces que los ecosistemas tropicales como los arrecifes de coral, que se desarrollan en aguas relativamente oligotróficas, sean altamente susceptibles al enriquecimiento de nutrientes (Szmant, 2002). Este aporte en exceso afecta el estado de condición de los arrecifes de coral a través de efectos fisiológicos directos en los corales tales como la reducción en el crecimiento o en la tasa de reproducción a través de efectos en la simbiosis coral-zooxantelas aumentando la susceptibilidad a blanquearse, y a adquirir una enfermedad infecciosa (Fabricius, 2005). Los efectos fisiológicos indirectos en la estructura de la comunidad del arrecife de coral vienen vía la estimulación del crecimiento de las algas, pues mientras el arrecife de coral se va degradando, las macroalgas y los tapetes algales crecen 3 veces más rápido que los corales volviéndose más abundantes y haciendo que la cobertura coralina decline; a este fenómeno se le llama cambio de fase alga-coral, y aunado a la falta de herbivoría, la competencia por el espacio se vuelve mayor (Pastorok & Bilyard 1985, Vermeij *et al.* 2010).

Muchos de los impactos tanto naturales como antropogénicos tienen efectos obvios e inmediatos, tales como la fragmentación de colonias coralinas al punto de la mortalidad total. Además, algunos efectos, como los provenientes de contaminantes químicos, desechos (industriales, domésticos, urbanos, etc.) o exceso de nutrientes, son más nocivos y sus impactos pueden ser más difíciles de comprender y cuantificar (Raymundo & Harvell, 2008). Uno de estos efectos y que además, ha ido aumentando en intensidad y frecuencia desde hace 30 años, es la incidencia de enfermedades coralinas; teniendo como consecuencia pérdida en el tejido vivo coralino, pudiendo ocasionar cambios significativos en la estructura de la comunidad, en la diversidad de especies y de otros organismos asociados (Beeden *et*

al. 2008). Debido a la incidencia de lesiones y al estado de condición que han presentado los corales, los científicos y tomadores de decisiones han declarado a los arrecifes en estado de crisis a nivel mundial (Veron *et al.* 2009; Wilkinson 1998, 2000, Wilkinson *et al.* 2009).

México cuenta con una Zona Económica Exclusiva (ZEE), que abarca 2,715,012 km², de los cuales 231,813 km² corresponden al mar territorial (SEMARNAT, 2010). Es uno de los países más diversos del planeta desde el punto de vista biológico. Su posición geográfica y su compleja historia geológica, principalmente, han creado una gama de condiciones que han permitido la coexistencia de elementos biológicos de diversos orígenes (tropicales y boreales, por ejemplo), así como una intensa diversificación de los grupos taxonómicos al interior del territorio. De este modo, en los niveles en los que se estudia la biodiversidad (ej. ecosistemas, especies y genes), México posee una riqueza especialmente importante. Junto con Brasil, Perú, Colombia, Indonesia, y China, México se encuentra entre los primeros lugares de las listas de riqueza de especies convirtiéndolo en un país megadiverso, pues se estima que contiene entre el 10% y 12% de las especies del mundo (SEMARNAT, 2008). De acuerdo con Escofet y Espejel (2004), nuestro país posee la mayor diversidad de grandes ecosistemas marinos. De las 232 ecorregiones marinas que existen en el planeta, once se encuentran en México (Spalding *et al.* 2007), siendo del interés de este estudio la ecorregión del Caribe Occidental.

El mar Caribe es un mar tropical parcialmente cerrado situado al este de América Central y al norte de América del Sur, cubriendo la superficie de la placa del Caribe. Se le conoce también como mar de las Antillas por estar ubicado al sur y al oeste del arco antillano. En él se encuentra el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), un ecosistema de aproximadamente 1,000 km de longitud que comprende cuatro países. Inicia en Cabo Catoche, al norte de Quintana Roo, México, recorre todas las costas del caribe mexicano, bordea las costas de Belice y Guatemala y finaliza en el complejo Islas de la Bahía/Cayos Cochinos en la costa norte de Honduras. Es único en el hemisferio occidental, siendo considerado el sistema arrecifal de barrera más grande del Mar Caribe y el segundo sistema arrecifal del mundo después de la Gran Barrera Arrecifal Australiana (SEMARNAT, 2010). La región se caracteriza por arrecifes de borde, de barrera y atolones, cayos, islas, humedales costeros, lagunas arrecifales y costeras, praderas de pastos marinos y bosques de manglar.

La característica de la porción mexicana del SAM es un sistema de arrecifes bordeantes. Junto con bosques de manglar y praderas de pastos marinos, los arrecifes de coral de la región ofrecen zonas importantes para alimentación y reproducción de más de 1,300 especies de peces, algunos mamíferos marinos y las seis especies de tortugas marinas que se encuentran en el mar Caribe (Wilkinson *et al.* 2009).

Sin embargo, los arrecifes coralinos de esta región son de los más dañados a nivel mundial, pues además de que han presentado eventos de blanqueamiento masivo de corales y apariciones de enfermedades infecciosas como en arrecifes de otras zonas del mundo, han presentado también eventos de mortandad masiva de especies importantes como el erizo *Diadema antillarum* (Lessios *et al.* 1984, Lessios 1988, Lessios *et al.* 2001) , y los corales ramosos *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata* (Baum *et al.* 2005, Lang 2003, Kramer 2003, Lirman *et al.* 2011), que junto con *Montastrea spp.* solían representar las especies constructoras arrecifales dominantes en la región (Aronson y Precht 2001, Schwarz 2008). Como resultado, la región ha perdido hasta el 80% de la cobertura histórica de tejido coralino (Gardner, *et al.* 2003). En el caso de la porción mexicana del Caribe, los arrecifes coralinos están sometidos a altos niveles de deterioro, y muchas especies se encuentran en peligro de extinción, habiendo sufrido algunas un declive de más de 90% (Wilkinson, *et al.* 2009).

En Quintana Roo, México, la Riviera Maya, un desarrollo turístico de 130 km de longitud y 40,361 habitaciones, ubicado en la parte norte del Sistema Arrecifal Mesoamericano atrae gran cantidad de turistas (SECTUR, 2012). En el 2008 la Riviera tuvo una ocupación del 74.42% mientras que en el primer sexenio del 2012 del 79.37%. Este alto porcentaje es en parte porque aún conserva algo de su diversidad natural (Aranda, 2009, SECTUR 2012). Sin embargo, debido a la inadecuada protección ambiental y la carente aplicación de regulaciones, los trastornos ecológicos se ven reflejados en el corredor Cancún-Tulum (Lang *et al.* 1998) donde el cemento está reemplazando a los manglares, mientras que el acceso público a la playa ha sido privatizado por grandes hoteles (Roy, 2004).

Roy en 2004, reportó que el único método legal para la disposición de aguas residuales hasta entonces, era en pozos profundos de inyección a pesar de que es bien conocido su suelo de roca caliza deja filtrar fácilmente al manto freático que tiene conexiones directas con

el mar mediante grietas y ojos de agua. En el 2010 se reportó en la COP 16 (Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) que en Quintana Roo operan actualmente 29 plantas de tratamiento con capacidad para procesar 1,601 litros por segundo, lo que equivale a sanear 67% de las aguas residuales que se producen en el estado, dejando todavía un alto porcentaje sin tratar. Además de esto, las playas de anidamiento de tortugas están desapareciendo y la actividad pesquera ha disminuido las poblaciones locales de peces e invertebrados (Roy, 2004).

En la costa del corredor se muestran además signos de deterioro, en particular en las partes someras de los arrecifes de coral debido a causas antropogénicas y naturales (Wilkinson *et al.* 2009). Diversos factores como turbidez elevada, exposición al agua dulce y al aire, altas temperaturas, contaminación y exceso de nutrientes pueden limitar el crecimiento de los corales. Entre las diferentes presiones antropogénicas sobre los arrecifes de coral destacan el desarrollo costero, las escorrentías con sedimentos y nutrientes, la contaminación de las costas, el turismo, la sobrepesca y otras prácticas pesqueras perjudiciales (Wilkinson *et al.* 2009). De estas, las dos actividades más importantes que conducen a que los seres humanos contribuyan en la degradación de los arrecifes de coral son la remoción de tierras (para la explotación forestal, la agricultura y la urbanización), ocasionando una aceleración importante en la carga de sedimentos a las áreas costeras tropicales donde los arrecifes crecen; y la pesca que elimina un gran número de herbívoros y depredadores de los arrecifes. Así mismo, en gran parte del Caribe, pesquerías de alto valor como las de mero y caracol se han colapsado y la sustentabilidad a largo plazo de la pesquería de langosta es motivo de preocupación cada vez mayor. (Wilkinson, *et al.* 2009).

La región carece de una adecuada coordinación entre sectores y de control del desarrollo de las diferentes actividades costeras, lo que ha contribuido en cierta medida a la reducción de los recursos naturales, a la degradación del medio ambiente y a conflictos en la utilización de los recursos (Fermán *et al.* 2006). Los proyectos de desarrollo costero sin planeación no solamente dañan a los arrecifes de coral, sino también a las economías locales que se basan en el turismo (el turismo costero representa el 85% del turismo a nivel mundial), comprometiendo la sostenibilidad de los arrecifes de coral, sus empresas turísticas y las comunidades que sostiene (César *et al.* 2003, The Coral Reef Alliance 2005).

En el contexto de la alta modificación a los ambientes costeros y marinos, la tendencia al crecimiento poblacional y desarrollo antropogénico, y a las tendencias registradas de declive en la condición arrecifal tanto a nivel local (sistema bordeante de Q.Roo) como regional (SAM); surge la interrogante ¿Cuál es la efectividad de las estrategias de manejo arrecifal que no se encuentran bajo un estatus de protección gubernamental o federal?, en este caso para el arrecife de Akumal, Quintana Roo.

2.- Marco teórico

2.1.- Caracterización de comunidades bentónicas

Existen varias técnicas para la caracterización de las comunidades bentónicas en arrecifes como los cuadrantes, los transectos en banda, transectos de intercepción de puntos, áreas circulares, fotocuadrantes entre otros (English *et al.* 1997; Raymundo *et al.* 2008).

La técnica de videotransectos ha sido adoptada para la caracterización y evaluación de arrecifes coralinos, en las últimas décadas, por ser considerada como un método de precisión media de acuerdo al área que abarca y el tipo y cantidad de datos que proporciona, por su capacidad de recolectar muchos más datos por unidad de tiempo de buceo, por almacenar las imágenes permanentemente para ser re-analizadas subsiguientemente, además de ser una técnica no destructiva que permite analizar comunidades bentónicas sin colocar marcadores permanentes en el ambiente y/o coleccionar organismos del lugar (Aronson *et al.* 1994; Gárza-Pérez, 1999; Sale *et al.* 2002; WWF, 2006). Esta técnica comenzó a utilizarse a principios de los 90's (Chiappone & Sullivan, 1991; Aronson *et al.* 1994; Carleton & Done, 1995; Vogt *et al.* 1997; Osborne & Oxley, 1997) y en los últimos años se ha adaptado a los avances tecnológicos, filmando ahora en formatos digitales de alta definición (HD) (Garza-Pérez *et al.* 2011). Pelletier *et al.* (2011) realizaron una comparación entre los censos visuales subacuáticos (UVC) y los videos de alta definición (HD) encontrando que las técnicas de videotransectos de alta definición son un gran complemento para los censos visuales e inclusive una alternativa para implementarlo cuando los UVC no se pueda realizar.

La técnica de videotransectos permite además obtener porcentajes de cobertura desde niveles taxonómicos de especies (para corales duros), hasta Grandes Grupos Funcionales y categorías asociadas a la caracterización de comunidades coralinas arrecifales (Osborne & Oxley, 1996; Aronson & Swanson, 1997; Garza Pérez 1999, 2004). Garza Pérez (2004) propone la caracterización de las comunidades bentónicas arrecifales desde varios enfoques y escalas, de una manera mas integral con otros componentes geomorfológicos, estructurales, ambientales y ecológicos del arrecife como modelos digitales batimétricos detallados del arrecife, registros de parámetros ambientales (temperatura, salinidad y

oxígeno disuelto del agua), densidad de colonias de coral escleractíneo, hidrocorales, octocorales y esponjas, y evaluación de la complejidad topográfica o rugosidad.

2.2.- Estado de condición

Determinar el estado de condición de un arrecife de coral ha sido objeto de diversos estudios en el Caribe (Garza-Pérez 1999, Aronson y Precht 2001, Lang 2003, Garza-Pérez 2004, García-Salgado *et al.* 2006) debido al deterioro que han ido presentando las comunidades arrecifales atribuido principalmente a presiones que resultan directa o indirectamente de actividades antropogénicas (Hoegh-Guldberg *et al.* 2007, Jackson 2008, Alcolado *et al.* 2010).

Una de estas iniciativas es el Programa de Evaluación Arrecifal Rápida del Atlántico y el Golfo (AGRRA por sus siglas en inglés) cuya estrategia de muestreo esta diseñada para coleccionar tanto información descriptiva como cuantitativa de un gran número de indicadores de vitalidad del arrecife a grandes escalas espaciales. Su objetivo es obtener información sinóptica de la condición del arrecife con rapidez y abarcar un gran número de arrecifes. En este protocolo se considera crítico obtener múltiples indicadores de la relación corales-algas-peces para caracterizar adecuadamente el complejo vínculo que existe entre ellos: (1) Tamaño y mortalidad parcial de los corales constructores de arrecifes; (2) Abundancia relativa de los principales tipos de algas; y (3) La abundancia y tamaño de las especies clave de peces.

Las evaluaciones AGRRA realizadas entre 1998 y 2000 en diversos arrecifes del Atlántico occidental con diferentes historias de perturbaciones, condiciones ambientales y presión pesquera fueron examinadas para revelar medias y varianzas para obtener 15 indicadores. En el caso del estado de condición de los principales corales escleractíneos e hidrozoarios se utilizaron como indicadores la composición de especies, el tamaño de la colonia, la mortalidad, el reclutamiento, las enfermedades, el blanqueamiento, la depredación y la cobertura coralina entre otros.

Alcolado *et al.* (1998) utilizan cuatro indicadores del Protocolo AGRRA: condición de los corales principales que forman los arrecifes, por especie y talla, abundancia relativa de los principales tipos de algas (macroalgas y coralinas costrosas), abundancia de erizos de mar *Diadema antillarum* y diversidad de peces y la abundancia y tallas de especies clave de peces arrecifales. Esperan que un arrecife “saludable” muestre relativamente poca evidencia de muerte reciente de los corales (p. ej., <5%), mientras que arrecifes con altos niveles de mortalidad reciente (p. ej., >10%) podrían indicar un evento perturbador que ha ocurrido recientemente; ó, si el nivel de mortandad antigua es alto (p. ej., >50%) podría indicar una perturbación significativa en el pasado.

CARICOMP (Caribbean Coastal Marine Productivity Programme, 1997) pretende integrar mediciones realizadas en manglares, pastos marinos y arrecifes de coral en una red de 29 sitios en 22 países y territorios con el fin de enfocarse en las interacciones de la productividad tierra-océano (Downs *et al.* 2005). Es un programa que provee una base de datos local y regional lo suficientemente robusta como para documentar (a largo plazo) respuestas de umbral de estos ecosistemas a los cambios globales, incluyendo impactos humanos y cambios climáticos (Bone *et al.* 2001).

Hernández-Delgado (2004) crea un modelo con predicciones teóricas de los estadíos estables de los arrecifes de coral el cual en base a datos sobre la riqueza de especies, cobertura de corales, presencia de corales raros, entre otros indicadores puede determinar el estado de condición de un arrecife clasificándolo en estado perdido, crítico, amenazado o estable (Anexo 1).

En el caso del arrecife de Akumal, Quintana Roo, Gárza-Pérez (2004) lo hizo a través de la caracterización y evaluación de la estructura de la comunidad arrecifal basándose en la relación inversa que existe entre gradientes de indicadores de degradación y de salud como porcentaje de cobertura de algas filamentosas/pardas, porcentaje de cobertura de coral escleratíneo, presencia y proporción de colonias afectadas por enfermedades coralinas, presencia de especies raras, y densidad de colonias vivas entre otros (Anexo 2).

Downs *et al.* (2005) proponen un método de diagnóstico basado en un símil de un examen clínico a un arrecife, el cual incluye una revisión histórica, así como un examen actual que detecte los cambios evidentes en puntos de evaluación elegidos cuidadosamente que cuenten con valores de referencia conocidos. Estos parámetros pueden ser elegidos a través de la jerarquía de organización biológica que incluye bioquímica/molecular (e.g. lesiones de ADN), fenómenos a nivel celular/tejido (e.g. lesiones patológicas), medidas de población (e.g. tamaño promedio de adultos, cobertura coralina, densidad de reclutamiento), diversidad de especies y abundancia.

2.3.- Enfermedades coralinas

Hay escasos reportes históricos de enfermedades en organismos de arrecifes de coral. El primer evento documentado en el Caribe fue una mortalidad masiva de esponjas en el norte del Caribe en 1938 (Weil 2004). En cuanto a enfermedades en corales, las primeras fueron documentadas a mediados de 1970s. Las muertes de corales debidas a la Enfermedad de Banda Negra (EBN), Enfermedad de Banda Blanca (EBB) y la Plaga Blanca (PB) fueron documentadas por primera vez en Belice, Bermuda, Florida y las Islas Vírgenes (Weil 2004). En 1975 fue el primer reporte de una mortandad significativa de corales debido a PB tipo I en Florida. Diez años más tarde en la misma zona, la misma enfermedad afectó masivamente a colonias del género *Montastrea* (Weil 2004).

A principios de 1980s, dos extensos eventos cambiaron la estructura y morfología de la mayoría de las aguas someras de las comunidades arrecifales en el Caribe occidental: la mortalidad masiva del erizo negro *Diadema antillarum* y el evento de la enfermedad de banda blanca que redujo significativamente las poblaciones de corales acropóridos (*Acropora palmata* y *A. cervicornis*) (Weil 2004). Por una parte, la muerte masiva de *D. antillarum* enfatizó una mayor diferencia en los arrecifes de coral del Caribe ya que los erizos eran los principales hervíboros de las algas, y tras su muerte, hubo una proliferación de macroalgas en toda la región. 20 años después de este evento de mortandad, la población se había recuperado apenas el 4% para los 2000s (Goldberg & Wilkinson, 2004). Por otra parte, los acropóridos eran de los más abundantes e importantes constructores arrecifales en la región, y al disminuir las densidades de estas especies, se transformó la arquitectura del arrecife

convirtiéndose en arrecifes con estructuras más planas y menos complejas (Gladfelter 1983, Álvarez-Fillip *et al.* 2009).

Diversos estudios (Goreau *et al.* 1998, Santavy *et al.* 1999, Cervino *et al.* 2001, Weil *et al.* 2006, Richards *et al.* 2008) han documentado la severidad con la que la enfermedad de banda amarilla ha afectado actualmente a los corales escleratíneos constructores a lo largo del Caribe mostrando por ejemplo en el estudio de Bonaire que el 91% de los corales *Montastrea* spp. en diez puntos de muestreo estaban afectados por la Enfermedad de banda amarilla (Cervino *et al.* 2001). La importancia de las enfermedades es su efecto a corto plazo en la disminución de tejido coralino vivo. Esto a mediano plazo ocasiona la disminución de la acreción arrecifal y la liberación de espacio para la colonización por organismos oportunistas (macroalgas, esponjas incrustantes. Y a largo plazo origina cambios significativos en sus tasas de reproducción, crecimiento, estructura de la comunidad, diversidad de especies y abundancia de los organismos asociados al arrecife (Raymundo *et al.* 2008).

2.4.- Calidad de agua

La vida en el ambiente acuático está determinada por la calidad y las características del agua, todo cambio en ella involucra cambios en la biota y en su composición físico-química (Walsh-Perú, 2009). Los cuerpos de agua tienen una gran capacidad para degradar y mineralizar gran cantidad de los contaminantes que se vierten en ellos, pero los microorganismos que realizan la degradación requieren de tiempo para ello. Si la descarga continua de contaminantes rebasa los tiempos de degradación, se pueden acumular contaminantes hasta alcanzar niveles tóxicos para los mismos organismos degradadores (SEMARNAT, 2005).

El concepto de calidad del agua se puede valorar al identificar y medir las cualidades de las mismas con cuantificaciones químicas, físicas y biológicas que permitan calificarla. Del estudio de la calidad del agua se pueden inferir los contaminantes y procesos que la afectan, con el fin de implantar los valores máximos permisibles de contaminantes, cuyas concentraciones no pongan en estrés a la vida acuática y permita al ser humano aprovechar el agua para diferentes usos (Aranda, 2004).

Las fuentes de contaminación de la zona costera se han definido de acuerdo a la procedencia de los contaminantes, como *fuentes puntuales* y *fuentes difusas*. Las fuentes puntuales, son aquellas cuyo sitio es físicamente identificable; mientras que las fuentes difusas son las que no tienen un punto obvio de entrada a los cuerpos de agua receptores, por ejemplo, la escorrentía de la zona agrícola (Escobar, 2002).

El acuífero del estado de Yucatán, es altamente vulnerable a todo tipo de contaminación; siendo el nitrato el contaminante más común en el agua subterránea debido a su estabilidad química y a que durante años se han infiltrado al subsuelo producto del cúmulo de contaminantes provenientes de actividades antropogénicas de la región (Cabrera *et al.* 2002). Así, las principales fuentes de nutrientes de la costa de la península se originan desde el interior en tierra, debido a que los sistemas de tratamiento de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, que iniciaron 10 años atrás, no son del todo eficientes; los contaminantes continúan infiltrándose a las aguas subterráneas, que al sumarlos a los desechos propios de las localidades costeras, son aportes que influyen en la calidad del agua de este litoral (Aranda-Cicerol, 2001). Varios autores reportan que el aumento de nitratos en el agua de mar ocasiona un aumento en la densidad de zooxantelas, sugiriendo que al volverse más abundantes, utilizan más CO₂ para la fotosíntesis, y reducen la disponibilidad de carbono para la calcificación (Marubini & Davies 1996, Marubini & Atkinson 1999, Fabricius 2005). Koop *et al.* (2001) reporta que con el enriquecimiento de fosfato aumenta la fijación de N, mientras que con el enriquecimiento de amonio aumenta la desnitrificación. Diversos modelos se han utilizado para resumir el papel de los nutrientes en la estructura de los corales (Littler & Littler 1984, Birkeland 1987, Steneck & Dethier 1994) pudiendo predecir de los tres que con el enriquecimiento de nutrientes se incrementa la dominancia de las macroalgas. Esta relación es la que Szmant (2002) menciona como el principal factor para culpar a la degradación del arrecife con el enriquecimiento de nutrientes, ya que éste puede afectar el estado de condición del arrecife de coral mediante efectos fisiológicos directos en los corales como la reducción de las tasas de crecimiento y reproducción, o incrementando la susceptibilidad a blanquearse o adquirir una enfermedad al afectar principalmente la relación simbiótica coral - zooxantelas.

2.5.- Estrategias de manejo

El Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC) es un enfoque para desarrollar e implementar los usos ambiental, cultural y económicamente sostenibles de la zona costera. El objetivo del MIZC es el de coordinar todos los usos y actividades de la zona costera, tanto en el sector público como el privado, de acuerdo a un grupo de políticas y prácticas de manejo de recursos consensuadas (The Coral Reef Alliance, 2005). A través del MIZC se busca asegurar que las decisiones que se toman en cada uno y en todos los sectores para la zona costera al igual que en todos los niveles de gobierno, actúen de manera armónica entre sí y sean consistentes con las políticas costeras de la nación. En este sentido Moreno-Casasola & Peresbarbosa (2006) plantean como objetivos del MIZC:

1. Lograr el desarrollo sustentable de las áreas costeras y marinas elevando la calidad de vida de sus habitantes.
2. Reducir los peligros y riesgos naturales a que están sujetas tanto las áreas costeras como sus habitantes.
3. Mantener los procesos ecológicos esenciales, los sistemas que mantienen la vida en la tierra, el funcionamiento de los ecosistemas y la diversidad biológica de las áreas costeras y marinas.
4. Resolver y disminuir los conflictos que se generan por el uso del espacio y de los recursos en la franja costera.
5. Armonizar las oportunidades de desarrollo con la conservación de los ecosistemas costeros.

A través de este enfoque se busca manejar un área en particular, con todos sus hábitats, sus recursos, sus actividades e interacciones que tienen lugar en la zona costera. Éstas actividades normalmente son administradas por agencias muy especializadas. Un enfoque de MIZC no suplanta este manejo sectorial, pero sí busca armonizar las diferentes políticas y programas, y coordinar a los diferentes actores y agencias involucradas (Moreno-Casasola & Peresbarbosa, 2006).

En cuanto al manejo arrecifal en el Caribe, se han implementado diferentes enfoques, como por ejemplo, la estrategia de acción local (LAS -local action strategies-) de Estados Unidos; iniciativa dirigida a identificar e implementar las acciones prioritarias necesarias para reducir las principales amenazas a los valiosos recursos de arrecifes de coral de cada jurisdicción de EE.UU: Florida, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Hawaii, Guam, Samoa Americana y las islas Marianas del norte. El grupo de trabajo priorizó seis áreas de acción local inmediata: sobrepesca, las fuentes de contaminación terrestre, el uso excesivo e indebido de actividades recreativas, la falta de conciencia pública, el cambio climático, el blanqueamiento de corales y las enfermedades coralinas en un plazo de tres años.

La iniciativa de LAS se encuentra en etapas diferentes, con diversos enfoques dentro de cada jurisdicción, y con diferentes escalas de tiempo. Por ejemplo, en Guam, entre los beneficios obtenidos a través de los esfuerzos, se logró expandir y mejorar la red de grupos que trabajan con temas de arrecifes de coral; inclusión de nuevos comités en restauración de cuencas, participación de universidades y plan de responsabilidad en la industria del turismo (NOAA, 2009).

Otro ejemplo de iniciativa de manejo arrecifal es la del Sistema Arrecifal Mesoamericano, la cual pretende consolidar las oportunidades de desarrollo sostenible de la región en las áreas de turismo, pesquerías, investigación y educación, mediante el uso racional y la conservación de los recursos arrecifales. Para ello proponen conjuntar esfuerzos entre las comunidades costeras, la iniciativa privada y los gobiernos de Belice, Guatemala, Honduras y México, bajo estrategias y acciones como el establecimiento de áreas naturales protegidas, el desarrollo de normatividades, el impulso al ecoturismo, el ordenamiento costero, la prevención de contaminación, la búsqueda de financiamiento internacional, el cumplimiento de los compromisos internacionales, el impulso a la capacitación, la investigación científica y monitoreo, el fomento de la participación social y el impulso a la integración social e identidad (Vera, 2010).

Cuando se trata de zonas más específicas y no regiones, las estrategias que se siguen se plantean en los Planes de Manejo que buscan contribuir al ordenamiento ecológico de tal manera que asegure la protección y el mantenimiento del patrimonio natural de la zona a

largo plazo, al tiempo que contribuya a mejorar la calidad de vida de sus pobladores. Un ejemplo es el Plan de Manejo del Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Sin embargo la mayor parte de la zona costera no está incorporada bajo ninguna categoría de protección, surgiendo bajo este supuesto la pregunta ¿se puede hablar entonces de manejo de recursos en áreas que no cuentan con protección federal?. La respuesta es sí, la SEMARNAT define el manejo de recursos naturales como “*las diversas formas de apropiación social y explotación de los elementos naturales bióticos o abióticos*”; y en el caso del manejo de los recursos marinos de Akumal, Quintana Roo, se logró esa apropiación social mediante la formación de un comité representativo de usuarios (prestadores de servicios, comunidad, hoteleros, etc.) el cual creó junto con el Centro Ecológico Akumal el “Programa Comunitario de Ordenamiento Marino de las Bahías de Akumal (POBAk): una alternativa de protección y manejo adaptativo de ecosistemas marinos en Quintana Roo, México” que tiene como objetivos: ordenar el aprovechamiento de los recursos naturales en la Bahía de Akumal y rescatar, preservar y conocer los ecosistemas marinos de la Bahía de Akumal.

Cabe destacar que son muy pocos los casos de estudio de áreas comunitarias protegidas que no están bajo el régimen legal de la entidad federal encargada de la protección y conservación. Por ejemplo, en Colombia, han surgido los resguardos indígenas y los territorios colectivos los cuales no son áreas protegidas decretadas y regidas por el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP), sino son una forma de dominio del territorio donde las comunidades en el ejercicio de su autonomía pueden zonificar los usos de sus territorios y crear áreas de conservación (Andrade 2003; Van der Hammen 2003).

Sin embargo, a partir de propuestas que surgen de comités comunitarios, como es el caso del POBAk, o los resguardos indígenas; se pueden crear las condiciones de confianza, jurídicas y de incentivos, para que éstos puedan ser integrados a la entidad federal encargada de la protección y conservación como el SINAP (Andrade & Ruiz, 2006), o en el caso de México la CONANP. Un valioso ejemplo es La Selva de Matavén, un área natural protegida que se decretó a petición de la comunidad; su creación surge a partir de la unión

de 16 resguardos indígenas que solicitaron al Gobierno Nacional la unión territorial de los mismos y el manejo común mediante una organización multi-étnica (*Asociación de Cabildos y Autoridades Tradicionales Indígenas de la Selva de Matavén*) cuya propuesta era tan sólida, que fue apoyada por el proyecto Consolidación Amazónica (COAMA), la Unión Europea y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, Banco Mundial). Durante todo el proceso, fueron las comunidades indígenas las que tuvieron el control de las decisiones que usualmente se dejan en manos de los gestores o ejecutores de los proyectos, tales como uso de recursos financieros, contratación de consultores y acceso democrático a la información, así como decisión sobre el papel que jugarían las ONG acompañantes y los financiadores; marcando un nuevo capítulo en la historia de conservación en tierras indígenas de Colombia (Andrade & Ruiz, 2006) y siendo un ejemplo para la creación de áreas comunitarias en Latinoamérica.

2.5.1 Evaluación estrategias de manejo

La fuerza que obtuvo el POBAk fue gracias a un acuerdo de voluntades entre todos los usuarios los cuales crearon un convenio de colaboración y cedieron al Centro Ecológico Akumal (CEA) el poder de fungir como intermediario para la vigilancia del cumplimiento del programa. Por su buen funcionamiento y estructura se consideró para esta tesis evaluar las estrategias de manejo utilizadas en el POBAk con la misma medida que se evaluarían las estrategias utilizadas en el Plan de Manejo de cualquier Área Protegida, ya que además, no se encontraron ejemplos de metodologías dirigidos específicamente a áreas comunitarias protegidas pero sí metodologías que aunque apuntaban principalmente a la evaluación de áreas protegidas manejadas por el Estado, sugieren que de igual manera pueden ser aplicadas a áreas protegidas privadas o comunitarias modificando lo que se crea pertinente para adecuarse mejor a las necesidades y circunstancias de las áreas a evaluar (WWF, 2003).

Para cada caso existen herramientas que facilitan hacer el análisis mediante indicadores. Éstos son ampliamente recomendados ya que son herramientas poderosas para caracterizar y cuantificar el ambiente y entender los procesos naturales y antropogénicos desarrollados en un Área Marina Protegida (AMP) (Ojeda, 2008). Un ejemplo son los indicadores

propuestos por Pomeroy *et al.* (2004) a elegir según el caso del Área Marina Protegida a evaluar. Los divide en tres categorías (Tabla 1) relacionando a los indicadores con objetivos y metas en común que se correlacionan a su vez con otros indicadores.

Tabla 1. Indicadores propuestos por Pomeroy *et al.* (2004) para medir la efectividad del manejo de un área protegida

1) Indicadores biofísicos	Bióticos	<ul style="list-style-type: none"> - Abundancia de especies focales - Estructura poblacional de especies focales - Distribución y complejidad del hábitat - Composición y estructura de la comunidad - Éxito de reclutamiento dentro de la comunidad - Integridad de la cadena alimenticia - Tipo, nivel y regreso en esfuerzo de pesca
	Abióticos	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad del agua
	Espaciales	<ul style="list-style-type: none"> - Área que muestra signos de recuperación - Área bajo impactos humanos nulos o reducidos
2) Indicadores socio-económicos	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos del uso local marino - Valores locales y creencias de los recursos marinos - Nivel de entendimiento de los impactos humanos en los recursos - Percepción de la disponibilidad de alimento - Percepción del recurso de cosecha local - Percepción del valor de no-uso y no-mercado - Estilo de vida material - Calidad de la salud humana - Distribución de los ingresos domésticos por recurso - Infraestructura y negocios de la comunidad - Conocimiento de historia natural por parte del interesado - Distribución del conocimiento formal a la comunidad - Porcentaje de grupos interesados en posiciones líderes - Cambios en las condiciones de sitios, características o monumentos históricos 	
3) Indicadores de gobernanza	Participación de las partes interesadas	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de interacción entre manejadores y partes interesadas - Nivel de entrenamiento proporcionado a las partes interesadas en la participación - Nivel de participación de las partes interesadas y satisfacción en el manejo - Nivel de involucramiento de las partes interesadas en la vigilancia.
	Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimientos de aplicación bien definidos - Cobertura de aplicación
	Entrenamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de entrenamiento de participación proporcionado a las partes interesadas - Proporción de partes interesadas entrenadas en uso sustentable
	Plan de manejo	<ul style="list-style-type: none"> - Existencia y adopción del plan de manejo
	Cambios y tendencias	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad y asignación de los recursos administrativos del AMP.
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de conflicto del recurso - Existencia de un cuerpo de manejo y toma de decisiones - Comprensión local de las reglas y reglamentos del AMP - Existencia y adecuación de la legislación de permisión - Existencia y aplicación de investigaciones científicas - Nivel de existencia y actividades de organizaciones de la comunidad

El Programa Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Programa Ambiental para Centroamérica (2004) presentan en el Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica cuatro categorías de indicadores para poder determinar el estado de gestión administrativa. Es un instrumento corto cuyo objetivo es hacer una revisión rápida sobre el estado de la efectividad de manejo y permitir mejorar la conservación y el manejo del área protegida mediante la asignación de una calificación a diferentes indicadores socioeconómicos, de gobernabilidad, biofísicos y de integridad ecológica (Tabla 2).

Tabla 2. Proceso de calificación de las cuatro categorías de indicadores propuestas en el Programa Ambiental para Centroamérica (SAM, 2004).

	Calificación Obtenida (CO)	Calificación Máxima (CM)	Calificación Final (CO/CM)
Indicadores Socioeconómicos			
Contexto		20	
Proceso		10	
Impactos		20	
Calificación Final Socioeconómico (CFS)		50	
Indicadores Gobernabilidad			
Contexto		20	
Planificación		50	
Insumos		35	
Procesos		10	
Resultados		15	
Impactos		5	
Calificación Final Gobernabilidad (CFG)		135	
Indicadores Biofísicos			
Impacto		55	
Calificación Final Biofísicos (CFB)		55	
Calificación Final (CFS+CFG+CFB)		240	

Para calificar cada indicador se presentan preguntas con 5 factibles respuestas. El usuario elige la más adecuada aplicable a su área, y de acuerdo al valor que esté asignado a cada respuesta se obtendrá una calificación. Después se realizará lo mismo con las siguientes preguntas y al final se sumarán todos los valores. Por ejemplo, si en la primera pregunta el indicador alcanza un valor de 5, ese número se sumará al valor del siguiente indicador, p.e. 4, obteniendo un valor total de 9. Al valor final de toda esa suma se le denominará “Calificación Obtenida (CO)”. Esa CO se comparará con la Calificación Máxima (CM) que es

el estado ideal del área protegida, dividiendo CO/CM; el valor resultante será entonces la Calificación Final (CF) que podrá ser interpretada en valores porcentuales (Tabla 3).

Ojeda (2008) hace una compilación de indicadores provenientes de diferentes fuentes sobre las fuerzas impulsoras, las presiones, los estados, los impactos y las respuestas relacionadas con la industria pesquera y los sectores del turismo. A estos indicadores los evaluó en base a 3 puntos: disponibilidad de datos, poder estadístico y acuerdo de los manejadores; y de cada una de las evaluaciones obtuvo un valor final para cada parámetro clasificándolos en malos, medios o buenos indicadores. Obtuvo que de los 268 indicadores sólo 16 fueron clasificados como buenos por cumplir con esos tres puntos, 157 con una clasificación media y 83 como malos indicadores.

La World Wild Fund (2003) publicó una “Metodología para la Evaluación y Prioirización rápidas del Manejo de Áreas Protegidas” (RAPPAM) donde provee las herramientas que permitan identificar las fortalezas y debilidades en el manejo de un área, realizar el análisis de amenazas y presiones, identificar áreas de importancia, etc. ayudando al evaluador a identificar las necesidades para mejorar el manejo de un área. Para el análisis de contenido de un programa presenta el esquema “Evaluación y ciclo de manejo” (Anexo 3).

Todos los trabajos coinciden con que no existen los ‘mejores indicadores’ sino existen los más adecuados para cada caso y los utilizables dependerán de las metas y objetivos de cada AMP. En el caso de Akumal, se utilizaron los indicadores del Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica (2004) por ser adecuados para la evaluación de la capacidad de gobernabilidad del CEA respecto al área y la situación socioeconómica de la misma, además de ser indicadores dirigidos a la región; y se utilizó como guía la “evaluación y ciclo de manejo” propuesta por WWF (2003) para la evaluación del Programa de Ordenamiento comunitario de las Bahías de Akumal por ser una metodología que evalúa el contenido del programa.

3.- Antecedentes

3.1.- Estado de condición arrecifal en Akumal, Quintana Roo.

Gutiérrez-Carbonell *et al.* (1995) reportan que para las bahías de Media Luna, Akumal y Chemuyil fue notoria la alta cobertura de zoantídeos y actinarios los cuales los consideran indicadores de altas concentraciones de materia orgánica en los sedimentos. Para la región entre Punta Chile y Yalkú mencionan que hay numerosos aportes de agua dulce con temperaturas inferiores a la temperatura del agua en las bahías hacia el arrecife, sugiriendo que provienen de una fuente subterránea en la zona.

Steneck & Lang (1998) utilizando el protocolo AGRRA analizaron diferentes aspectos del arrecife obteniendo bajas tasas de mortalidad reciente entre 0-25% excepto el arrecife Lobster Condo que excedió el 50%. Sin embargo las tasas de mortalidad antigua fueron altas dentro del rango 75-100%. En los sitios de 10m (arrecife frontal) obtuvieron que la densidad de coral fue de 53% de *M. annularis*; el promedio de diámetro máximo de coral fue de 0.8m y la altura de 0.45m. El porcentaje de cobertura de Macroalgas fue de 25% y el número de *Didema antillarum* /m² fue de 0.001. La cobertura coralina total del arrecife fue muy baja, de 7%.

Roy (2004) reporta que en el 2000, la cobertura de corales duros vivos había decrecido un 40% en dos de los sitios estudiados por Muñoz-Chagín y de la Cruz-Agüero (1993). Menciona que alrededor de la mitad de esta pérdida aparentemente ocurrió entre 1998 y 2000 durante el episodio de blanqueamiento masivo que afectó principalmente a *Montastraea faveolata* y a *M. annularis*. En el sitio a 13m de profundidad, donde las tasas de sedimentación inferida son relativamente altas, se registró una pérdida de 70 cm² de tejido vivo/coral/año.

Barrera & Nahimira (2004) realizaron un análisis de la concentración de bacterias coliformes en agua y sedimentos de la Bahía de Akumal durante el año de 2001. Como resultados obtuvieron que la zona analizada presentó contaminación por coliformes fecales en la Laguna de Yalkú en dos muestreos durante octubre y diciembre, al acercarse la temporada

turística. Las mayores concentraciones de bacterias se asociaron a los sitios con menor salinidad y bajos niveles de oxígeno disuelto; mientras que las concentraciones en sedimentos se incrementaron al final del año.

Foley *et al.* (2005) analizaron mediante Sistemas de Información Geográfica y estadísticas espaciales la distribución de la Enfermedad de Banda Amarilla (EBA) (que afecta principalmente a las especies de coral *Montastrea*) durante el verano del 2002. De 63 corales evaluados la prevalencia de la EBA en la bahía de Akumal fue del 28.6% con 35.7% en colonias grandes, 23.8% en colonias de tamaño medio y el 23.8% en colonias pequeñas. Las lesiones cubrieron 3.8% de las colonias evaluadas, comparadas con el porcentaje de cobertura de colonias muertas que fue de 54.4%.

Baker *et al.* (2010) analizaron *Gorgonias spp.* de Akumal mostrando que éstas se encontraban relativamente enriquecidas de $\delta^{15}\text{N}$ (tan alto como 7.7% cerca de la costa) y tuvieron una cantidad 3.5‰ mayor que en Mahahual. Como resultado obtuvieron que las entradas de N derivadas de aguas residuales son irregulares a lo largo de la costa. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ estuvieron positivamente correlacionados con los recuentos de Enterococos fecales del agua de mar; lo que confirma que estos enriquecimientos están asociados con las aguas residuales y no con la denitrificación en sedimentos que aportaría $\delta^{15}\text{N}$ de NO_3^- mediante el transporte de agua subterránea como proponen Mutchler *et al.* (2007).

Garza Pérez define el estado de condición arrecifal de Akumal en 1999 y 2004 mediante el análisis de videotransectos y datos *in-situ*, de donde obtuvo valores de cobertura de Grupos Taxonómicos y de Substrato (GTS), substratos inertes, tipos de algas, número de especies, valores de diversidad y equidad de corales pétreos, y valor de complejidad topográfica. Consideró al estado de condición del arrecife de Akumal como “estresado y proclive a la degradación” debido a las altas coberturas algales (hasta 60% en algunas estaciones), principalmente de algas pardas y filamentosas, y altas proporciones de coral muerto reciente. En promedio la cobertura fue: coral escleractíneo 14.56%, macro-algas 28.73%, octocoral 10.14%, roca/pavimento calcáreo 23.40%, arena 10.94%, pedacería 6.97% y 5.26% otros.

Garza-Pérez *et al.* determinan en el 2011 el estado de condición arrecifal de Akumal realizando una modificación a esa metodología ya que incluyeron la evaluación de enfermedades coralinas y la caracterización de las comunidades de peces arrecifales.

🌐 3.2.- Programa comunitario de ordenamiento marino de las bahías de Akumal, Q.Roo, México (POBAk)

A principios del 2007 se creó el Comité para el Ordenamiento Marino de la Bahía de Akumal. Este Comité se conformaba por representantes de hoteles asentados en predios colindantes a la Bahía de Akumal, propietarios de tiendas de buceo, prestadores de servicios náuticos independientes y el Centro Ecológico Akumal. A mediados de este mismo año “El Comité” comenzó a funcionar como el órgano de participación comunitaria para la toma de decisiones dentro del Programa Comunitario de Ordenamiento Marino de la Bahía de Akumal (POBAk). A finales del 2007 se obtuvo de la SEMARNAT el permiso de aprovechamiento no extractivo para el avistamiento de tortugas marinas en tours de snorkel, basado en un Plan de Manejo para el desarrollo de esta actividad. Durante el 2007 se desarrollaron múltiples talleres y reuniones que derivaron en la definición de la zonificación y perfeccionamiento del Plan de Manejo y de un esquema de regularización comercial de las actividades acuáticas recreativas. Durante este año el POBAk puso a prueba los esquemas de señalización, vigilancia, monitoreo biológico y de la intensidad de uso. A partir del 2008 el POBAk y su Plan de Manejo de tours de snorkel permitieron revertir las tendencias en el incremento de la intensidad de uso favoreciendo principalmente a operadores locales. Los impactos asociados con la actividad de embarcaciones y recorridos a snorkel se minimizaron y se creó el fondo para el ordenamiento; un esquema de aportaciones voluntarias o donativos económicos que los operadores entregaban para el mantenimiento del programa. La vigilancia y control de actividades se formalizó a partir de la creación de un puesto de figura emblemática; “El Controlador”, persona encargada de vigilar el cumplimiento de las reglas de operación y registrar en bitácora la actividad de los operadores del POBAk, incumplimientos y actividad de operadores ilegales.

4.- Justificación

Akumal fue el primer destino turístico de la zona costera continental del Caribe mexicano. A pesar de que no fue el lugar que tuvo mayor desarrollo de infraestructura, es un sitio netamente turístico por la belleza de sus bahías, zonas de playa y diferentes ecosistemas marinos, incluyendo arrecifes de coral. El arrecife de Akumal se diferencia de los demás arrecifes de la porción central de Quintana Roo, por contar con una formación arrecifal considerable (Jordán 1993, Garza-Pérez 1999) que propicia a una gran variedad de fauna marina. Un ejemplo es la presencia permanente de tortugas marinas lo cual en conjunto impulsa en la zona actividades recreativas como buceo y snorkel.

Meixueiro (2008) reporta que en el 2007 de los destinos nacionales que visitaron los turistas extranjeros sobresale Akumal con el primer puesto, en donde tuvieron una estadía promedio de 7.76 noches, y obtuvo el segundo lugar a nivel nacional de ocupación con el 77.86% de habitaciones llenas.

Además de la zona turística que se encuentra en las bahías de Akumal, también existen casas particulares, mientras que 1km al oeste, se encuentra el poblado. El establecimiento de asentamientos urbanos y el desarrollo actividades antropogénicas en la zona perjudican el área por el cambio de uso de suelo, la construcción de centros urbanos, la alta incidencia de actividades de buceo, la pesca deportiva, la navegación de tipo turístico, la notoria modificación a sistemas de dunas costeras y manglares, y sobre todo, el deterioro de la calidad del agua por escorrentías, filtraciones y aguas negras, ya que pocos establecimientos tienen la infraestructura para tratamiento de aguas residuales, y aún teniéndolo éste resulta insuficiente para minimizar considerablemente el impacto del desecho de aguas (Garza-Pérez, 2004; Barrera & Nahimira, 2004).

Debido a la tendencia acelerada hacia el deterioro arrecifal asociado a actividades humanas, es de suma importancia evaluar las estrategias de manejo arrecifal empleadas en esta zona para minimizar las perturbaciones, ya que aunque el arrecife de Akumal no pertenece a ninguna Área Marina Protegida, se encuentra expuesto a las perturbaciones antropogénicas que afectan al resto del SAM.

5.- Hipótesis

Las estrategias de manejo arrecifal utilizadas en los programas y planes de Akumal, Quintana Roo no contemplan estrategias específicas para la conservación y mejoramiento del estado de condición arrecifal.

6.- Objetivo general

Establecer el grado de efectividad de las estrategias de manejo planteadas para el arrecife de Akumal tomando en cuenta el estado de condición pasado y actual del arrecife, con énfasis en la incidencia de lesiones coralinas.

7.- Objetivos particulares

1. Evaluar las enfermedades coralinas en el arrecife de Akumal en los años 2009 y 2010.
2. Evaluar el estado de condición del arrecife coralino de Akumal, Quintana Roo con base en la información generada por Garza-Pérez *et al.* (2011).
3. Evaluar y determinar si las estrategias utilizadas para el manejo del área son congruentes con las problemáticas ambientales y presiones antropogénicas asociadas específicamente con el arrecife. Identificar las actividades antropogénicas de posible influencia sobre el arrecife y explorar sus posibles relaciones con el estado de condición arrecifal.

8.- Área de estudio

La región de Akumal forma parte del corredor turístico Cancún-Tulum (Figura 1). Está ubicada en los 20°24'N y 87°19'W, su clima es cálido subhúmedo (Aw1 y Aw2), los vientos dominantes tienen una dirección E-SE y la circulación del agua tiene flujo neto S-N (Barrera & Nahimira, 2004). El arrecife coralino que se encuentra en sus costas forma parte del sistema de arrecifes de bordeantes de Quintana Roo (Garza-Pérez, 2004) que a su vez forma parte de la segunda barrera arrecifal más grande del mundo, el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).

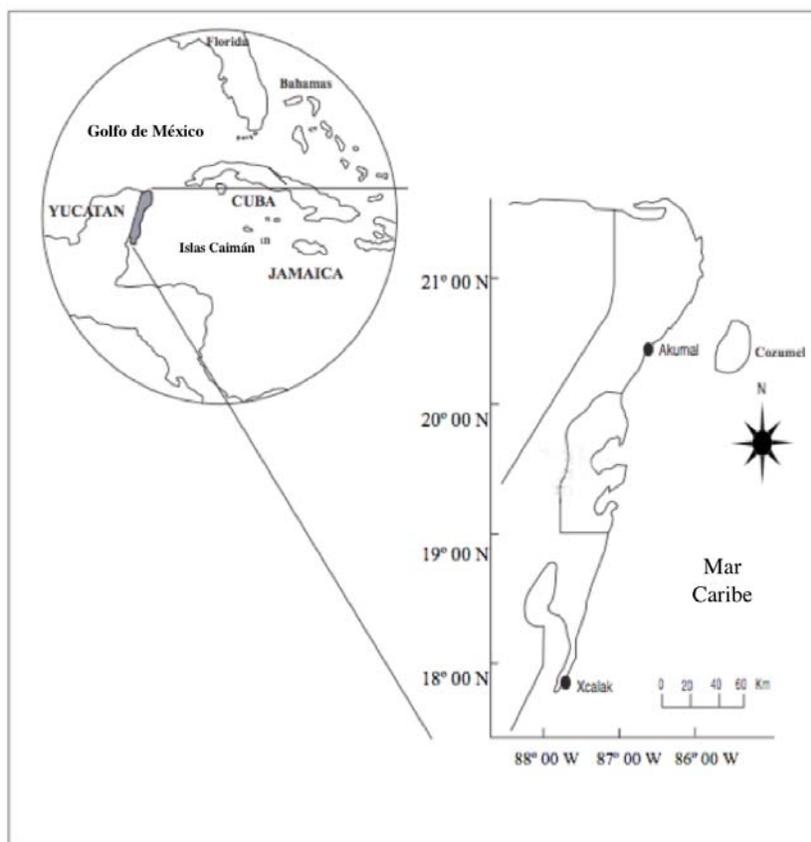


Figura. 1 Ubicación espacial de Akumal, Quintana Roo. *imagen modificada de Lang (2003).

La región analizada abarca desde Xcacel (al sur) hasta el hotel Sirenis (puntos naranjas en Fig. 2). Mientras que la región del POBAK abarca un área menor la cual cuenta con tres cuerpos principales: la Laguna Yalkú, que tiene un aporte de agua dulce cuya influencia se extiende a una longitud aproximada de 800 m desde la costa, tiene sustrato arenoso,

presenta áreas rocosas cubiertas de algas y comunidades coralinas. La Bahía de la Media Luna, cuyo sustrato es arenoso-rocoso, presenta también parches de pastos marinos además de zonas de coral, y la Bahía de Akumal (polígono punteado en Figura 2), que tiene arena, grandes extensiones de pastos marinos e importantes parches de coral aislados (Díaz-Ruiz, 2002).



Figura. 2. Área de protección del POBAk y red de estaciones de muestreo. El polígono de puntos representa el polígono que abarca el POBAk, mientras que los puntos naranjas son las estaciones donde se realizaron análisis de enfermedades.

El medio marino además de contar con aportes de escorrentías epicontinentales, se ve afectado también, en un modo aún no cuantificado, por las filtraciones desde los sistemas freáticos, que corren bajo la Península de Yucatán. Se considera que éstas filtraciones pueden llevar consigo materia orgánica disuelta, nutrimentos minerales e inclusive pesticidas, hidrocarburos y desechos industriales tóxicos (Garza-Pérez, 1999).

En cuanto al arrecife, éste se le considera muy bien desarrollado y con diversos hábitats. En el arrecife frontal, hasta una profundidad aproximada de 40m, se puede observar una cresta arrecifal bien delineada junto con las zonas de transición de pavimento calcáreo, sistemas de cordilleras y canales, y canales de arena (Garza-Pérez, *et al.* 2004).

9.- Metodología

9.1 Enfermedades coralinas

Para evaluar las enfermedades coralinas presentes en el año 2009 se tomaron datos *in situ* sobre las lesiones y enfermedades observadas (UVC) en transectos en banda de 50 x 0.6m en cada una de las 38 estaciones definidas, repartidas en un área de 6.9km² en total, en las zonas de laguna, frente y pendiente arrecifal. Sobre los mismos se filmaron videotransectos (HD) los cuales fueron evaluados cuadro por cuadro en un monitor de alta resolución utilizando los pasos mencionados en el árbol de decisión para describir correctamente lesiones en corales (Anexo 4) y determinando las enfermedades presentes en base a la guía modificada del Coral Disease Handbook de Raymundo *et al.* (2008) (Anexo 4); además de tener como guía los registros obtenidos en campo (UVC). Para la información de las enfermedades en el 2010 se tomaron los datos de Garza-Pérez *et al.* (2011).

9.2 Evaluación de Estado de Condición.

Para la evaluación de la estructura de la comunidad bentónica arrecifal se utilizó la guía modificada de Grandes Grupos Funcionales (Anexo 6) así como los datos reportados por Garza-Pérez *et al.* (2011): valores de cobertura de Grupos Taxonómicos y de Substrato (GTS), substratos inertes, tipos de algas, número de especies y valores de diversidad y equidad de corales pétreos, y valor de complejidad topográfica. Con ésta información y en base a datos históricos locales y de la región (Garza-Pérez 1999, 2004; Gardner, 2003; Roy 2004; Mutchler *et al.* 2007, 2010), así como con los esquemas sinópticos utilizados en Garza-Pérez (2004) (Anexo 2) y en Hernández-Delgado (2004) (Anexo 1) fue posible estimar el estado de condición de la comunidad bentónica y establecer la presencia de impactos por los efectos negativos identificados sobre los componentes de la comunidad (indicadores de respuestas estructurales, i.e. relación coral muerto-macroalgas, densidad de colonias, presencia de blanqueamiento y/o enfermedades en corales, porcentaje de cobertura de macroalgas y algas filamentosas, etc.). También se estimó el desarrollo estructural de cada arrecife incorporando la composición de la comunidad coralina arrecifal.

9.3 Evaluación de Estrategias

Se llevó a cabo una revisión de las estrategias implementadas en el “Programa Comunitario de Ordenamiento Marino de las Bahías de Akumal (POBAk): una alternativa de protección y manejo adaptativo de ecosistemas marinos en Quintana Roo, México” con el fin de evaluar las estrategias de manejo utilizadas en el área y determinar si apuntan a solucionar las problemáticas que identifican y la visión del programa. El análisis de contenido consistió en extraer las partes identificadas como relevantes en el programa (objetivos, diagnóstico y problemática, ordenamiento, zonificación, reglamento) para vincularlas con las estrategias que se proponen y establecer la congruencia de las mismas, así como la capacidad que tienen para cumplir los objetivos del POBAk.

Así mismo se utilizaron las estrategias propuestas en el Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica, que presenta el

“Programa Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Programa Ambiental para Centroamérica” (2004) para evaluar el estado del área mediante indicadores socioeconómicos y de gobernabilidad. Las entrevistas se realizaron al director del Centro Ecológico Akumal y al director del Programa de Ordenamiento comunitario de las Bahías de Akumal, por ser considerados los actores que podrían tener una mejor visión sobre el funcionamiento del programa y el estatus interno del CEA.

En base a esto se identificaron las necesidades que el área tiene para poder cumplir a cabalidad sus objetivos y lograr la conservación y el manejo del área deseables.

10.- Resultados

10.1 Enfermedades coralinas

Con el fin de presentar resultados de manera más práctica, se crearon categorías sobre las enfermedades encontradas. Las enfermedades que ocasionan un tipo de blanqueamiento debido a algún patógeno (enfermedad de parches blancos, plaga blanca, enfermedad de banda blanca, puntos ulcerativos y síndrome blanco) están en una categoría, mientras que el blanqueamiento que es por otras causas como p.e. estrés ambiental (blanqueamiento, blanqueamiento pálido y blanqueamiento parcial) están en otra. Además se creó una categoría en las que el organismo presenta una respuesta como necrosis, pigmentación diferente o salud comprometida (Figura 3). En los años evaluados (2009 y 2010) se utilizó la misma red de estaciones, encontrando que en el 2009 la enfermedad con mayor incidencia fue la Enfermedad de Puntos Oscuros representando el 32% de las enfermedades encontradas. Para el 2010 ésta representaba sólo el 8.64% mientras que la Enfermedad de Banda Amarilla fue la que mayor registros obtuvo representando un 41.98% de las enfermedades encontradas (Figura 3).

Lesiones presentes en Akumal 2009 y 2010

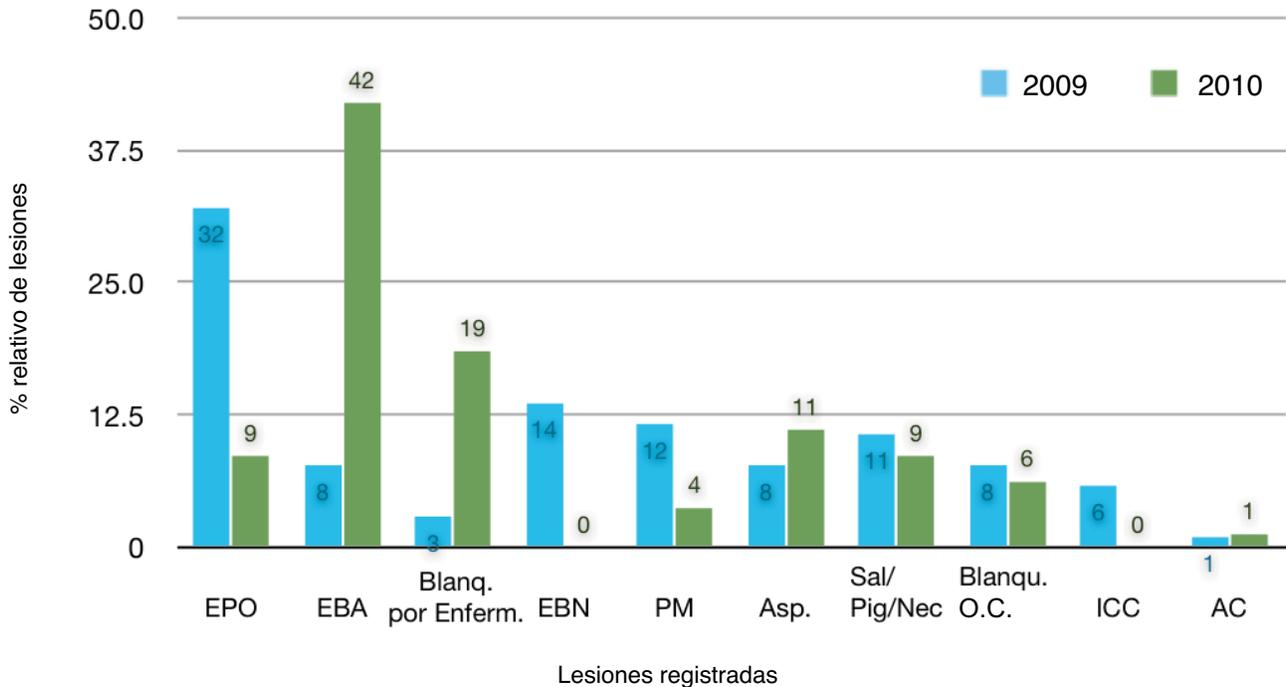


Figura 3. Enfermedades presentes en el arrecife de Akumal en los años 2009 y 2010. [EPO= Enfermedad de Puntos Oscuros; EBA= Enfermedad de Banda Amarilla; Blanq. por Enferm.= Blanqueamiento causado por algún patógeno (enfermedad de parches blancos, plaga blanca, enfermedad de banda blanca, puntos ulcerativos y síndrome blanco); EBN= Enfermedad de Banda Negra; PM= Puntos Morados; Asp.= Aspergilliosis; Sal/Pig/Nec= Salud comprometida, Respuesta de pigmentación y Necrosis; Blanqu. O.C.= Blanqueamiento por otras causas como estrés ambiental (blanqueamiento, blanqueamiento pálido y blanqueamiento parcial); ICC= Infección Bacteriana del caribe y AC= Anomalías de crecimiento]. Los números en cada columna indican el % que representa esa lesión respecto al total.

Respecto a la distribución espacial de las mismas, también en el 2010, se observó que las estaciones con mayor registros de enfermedades están en la pendiente, zona que también tiene el mayor establecimiento de macroalgas (Figura 4). En la laguna hay pocos a nulos registros de enfermedades así como escasa cobertura de corales y macroalgas; debido a que lo dinámico de la zona dificulta el establecimiento de las mismas. Exceptuando el punto amarillo más al sur mostrado en la Figura 4, todas las estaciones que registraron de 5 a > 8 lesiones por transecto se encuentran dentro de la zona de protección del POBAk.

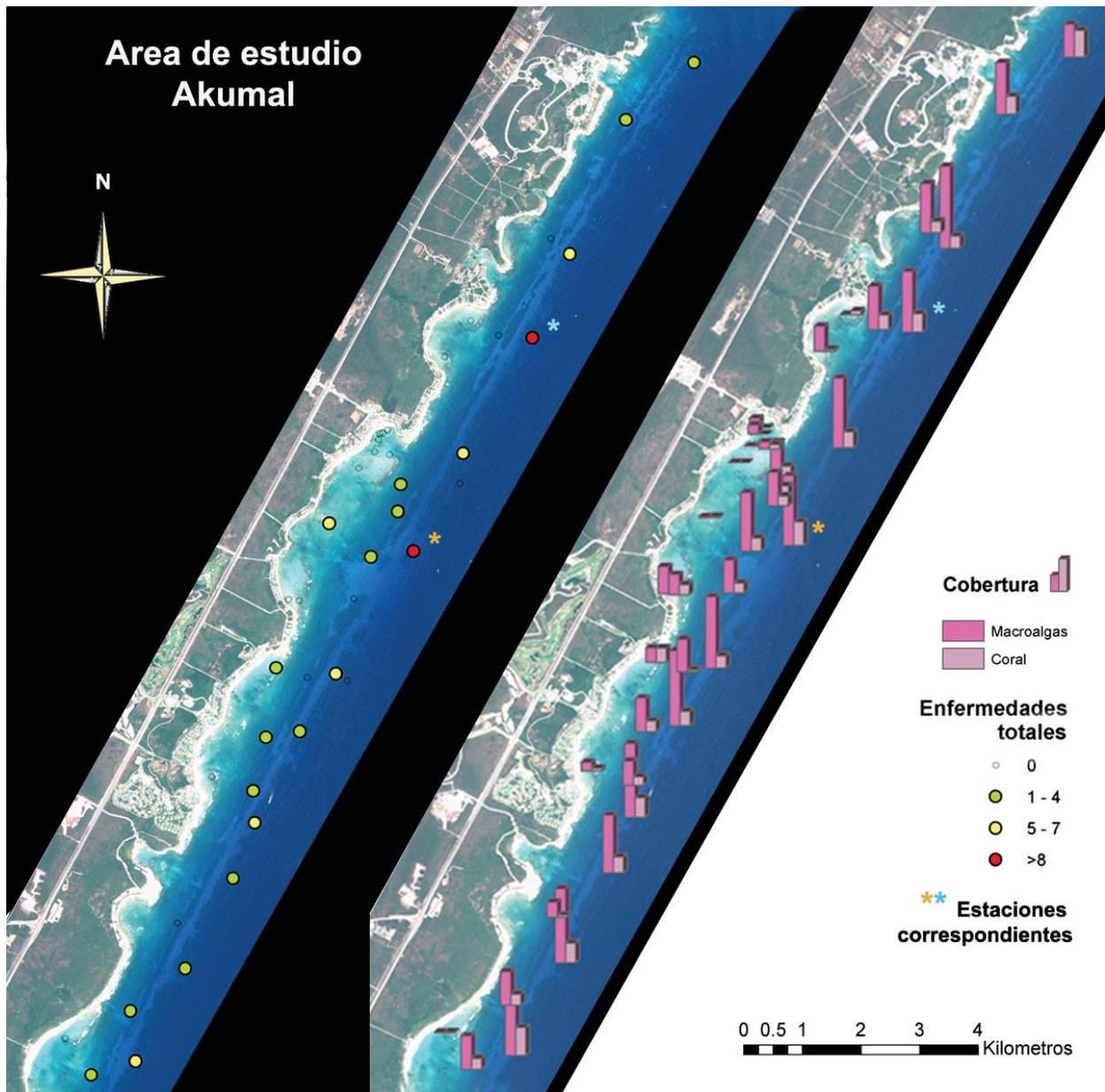


Figura 4. Distribución espacial de la cobertura de Macroalgas, Corales y registros de enfermedades totales por estación en Akumal, Quintana Roo en el año 2010.

10.2 Estado de condición arrecife de Akumal

En el 2010 se caracterizó y evaluó el arrecife de Akumal realizando 38 transectos de 30m² cada uno; los cuales se encuentran repartidos en un área de 6.9km² en total, en las zonas de laguna, frente y pendiente arrecifal. En esos transectos se contabilizaron 2,912 colonias de

corales escleratinos y 2,745 de octocorales, y se registraron 34 y 7 especies respectivamente.

En promedio, la cobertura del arrecife estuvo dominada por las macroalgas ($\approx 30\%$) seguidas de sustrato desnudo ($\approx 24\%$), al cual le sigue la arena o sedimento no consolidado ($\approx 16\%$), los corales duros ($\approx 8\%$), los octocorales ($\approx 8\%$), la pedacería de coral ($\approx 4\%$), las esponjas ($\approx 2\%$), los pastos marinos ($\approx 2\%$), y por último los zoantídeos, tunicados y el coral muerto reciente ($>1\%$) (Figura 5).

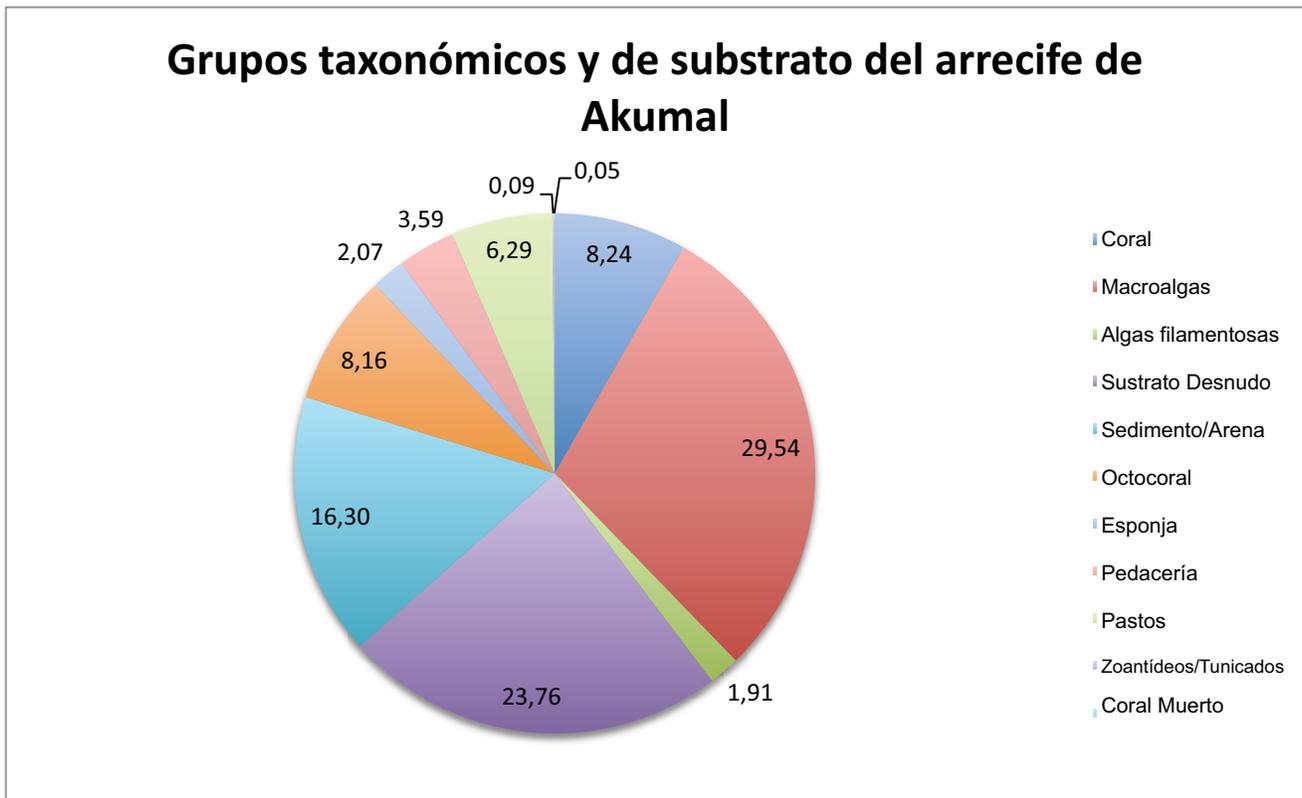


Figura 5. Porcentajes de grupos taxonómicos y de sustrato encontrados en el arrecife de Akumal, Quintana Roo. Modificada de Garza *et al.* 2011.

La especie dominante en las 38 estaciones muestreadas, en las tres diferentes zonas arrecifales de Akumal (laguna, frente y pendiente), fue *Porites astreoides*, seguida por *Undaria agaricites* y *Montastrea faveolata*.

La riqueza de especies fue obtenida con el índice de Margalef, dando un resultado igual a 5.01 considerando las tres zonas del arrecife. Esto implica que tiene una riqueza alta de especies.

La caracterización de la comunidad de peces utilizada fue la hecha en 2010 y publicada en Garza-Pérez *et al.* 2011 donde se registró un total de (n=1,857) individuos en las tres zonas arrecifes evaluadas; lagunas (n=568), frente (n=683) y pendiente arrecifal (n=606), repartidos en 22 familias y 81 especies. Las familias mejor representadas en todo el arrecife fueron Pomacentridae y Scaridae respectivamente. Con respecto a las categorías tróficas, en todo el arrecife, las que mostraron mayor cantidad de biomasa fueron los peces con alimentación a base de plantas y detritus, los carnívoros generalizados y los que se alimentan de invertebrados con concha respectivamente.

En la evaluación de la comunidad coralina de 2010 se registró un total de 5666 colonias coralinas, y se identificaron tres tipos de lesiones relacionadas con enfermedades infecciosas, blanqueamiento y daños mecánicos (mordidas de peces) en 95 colonias (83 de coral duro y 12 de octocorales) . Las lesiones se subdividieron en 17 categorías, de las cuales 14 correspondieron a enfermedades infecciosas. Para reportarlas, éstas subdivisiones se agruparon en 10 nuevas categorías mencionadas en la sección 10.1. La banda amarilla (YBD) con un 44.2% de incidencia en las colonias enfermas, fue la más común de las 14 enfermedades infecciosas registradas que afectaron a 14 especies de corales duros y dos octocorales (*Gorgonia flabellum* y *G. ventalina*). *Montastrea faveolata* fue la especie con mayor incidencia de lesiones de todo tipo. Se registraron 4 colonias con blanqueamiento parcial, 12 con mordidas de peces y 2 con lesiones no identificadas. En total, las colonias coralinas con lesiones representaron el 2.85% de la población total analizada, mientras que los octocorales lesionados representaron el 0.43% de los octocorales registrados (Figura 6).

Enfermedades y lesiones en Akumal (2010)

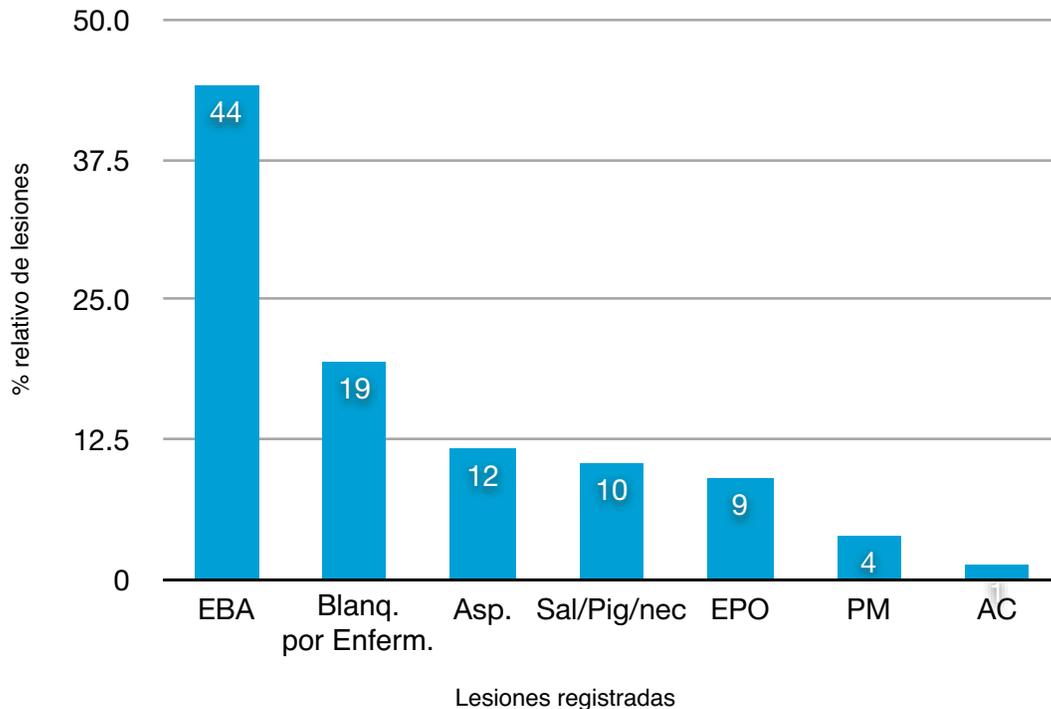


Figura 6. Gráfica de barras en orden de presencia de las enfermedades y lesiones encontradas en el arrecife de Akumal, Quintana Roo [EBA= Enfermedad de Banda Amarilla; Blanq. por Enferm.= Blanqueamiento causado por enfermedades (enfermedad de parches blancos, plaga blanca, enfermedad de banda blanca, puntos ulcerativos y síndrome blanco); Asp.= Aspergilliosis; Sal/Pig/Nec= Salud comprometida, Respuesta de pigmentación y Necrosis; EPO= Enfermedad de Puntos Oscuros; PM= Puntos Morados; y AC= Anomalías de crecimiento]. Modificada de Garza-Pérez *et al.* 2011.

En base a esta información, a datos históricos locales y de la región (Garza-Pérez 1999, 2004; Gardner, 2003; Roy 2004; Mutchler *et al.* 2007, 2010), así como con los esquemas sinópticos utilizados en Garza-Pérez (2004) (Anexo 2) y en Hernández-Delgado (2004) (Anexo 1) el estado de condición del arrecife de Akumal, Quintana Roo se puede definir como “crítico” debido a la baja cobertura de corales, la dominancia de macroalgas, la ausencia casi total de especies raras de coral duro, la poca presencia de colonias grandes de coral escleractíneo, la alta mortalidad de tejido coralino y la alta abundancia de especies oportunistas.

10.3 Calidad de agua

El Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad Quintana Roo proporcionó datos puntuales del monitoreo de calidad de agua en la laguna de Yalkú y en la bahía de Akumal en los años 2008-2010, incluyendo mediciones de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), sulfatos (SO_4) y amonio (NH_4), entre otros.

Al realizar comparaciones estacionales, se pudo identificar que la cantidad de NO_3 que ingresa tanto en la bahía de Akumal, como en la laguna de Yalkú a través de los aportes por filtraciones del manto freático, aumenta del período de secas al de lluvias en un 978% en promedio (Tabla 4). En cuanto a los registros de NO_2 , NH_4 y PO_4 las cantidades presentes fueron muy similares en ambas temporadas estacionales (Tabla 3). Asociando las descargas de agua ricas en nutrientes a las variaciones estacionales que dependen de los patrones de precipitación pluvial de la región (Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira, 2005).

Tabla 3. Monitoreo estacional de la calidad de agua en Akumal realizado por el CICY en 2009 y 2010.

Datos de 2009 y 2010	NO_3		NO_2		NH_4		PO_4	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
	μM		μM		μM		μM	
Yalkú	20.345	151.6008	0.2391	0.0435	24.448	22.1748	0.589	0.2106
Bahía Akumal Sur	14.73	175.7924	0	0.1087	17.795	-	0.842	0.3159
Bahía Akumal Norte	5.598	72.5749	0.1956	0.0217	17.352	-	0.474	0.3159

Tabla 4. Diferencia estacional de cantidad de nitratos que ingresan en la parte oceánica de Akumal. La columna de proporción indica el incremento desde la temporada de secas a la de lluvias.

N-NO3			
	Secas	Lluvias	Proporción
	μM		%
Yalkú	20.34	151.6	645.15
Bahía Akumal Sur	14.73	175.8	1093.43
Bahía Akumal Norte	5.6	72.57	1196.44
Promedio			978.34

Una forma de explicar el aporte en nutrientes es a través del análisis de la salinidad entre temporadas de secas y lluvias. En temporada de secas el promedio de la salinidad es de $28.22 \text{ ppm} \pm 8.09$; y en lluvias de 25.14 ± 5.23 . La disminución llega a ser de hasta 17ppm, pero en promedio la disminución de una temporada a otra es $3 \text{ ppm} \pm 2.86$; indicando la existencia de incrementos importantes en el aporte de agua dulce proveniente del manto freático durante la temporada de lluvias (Figura 7).

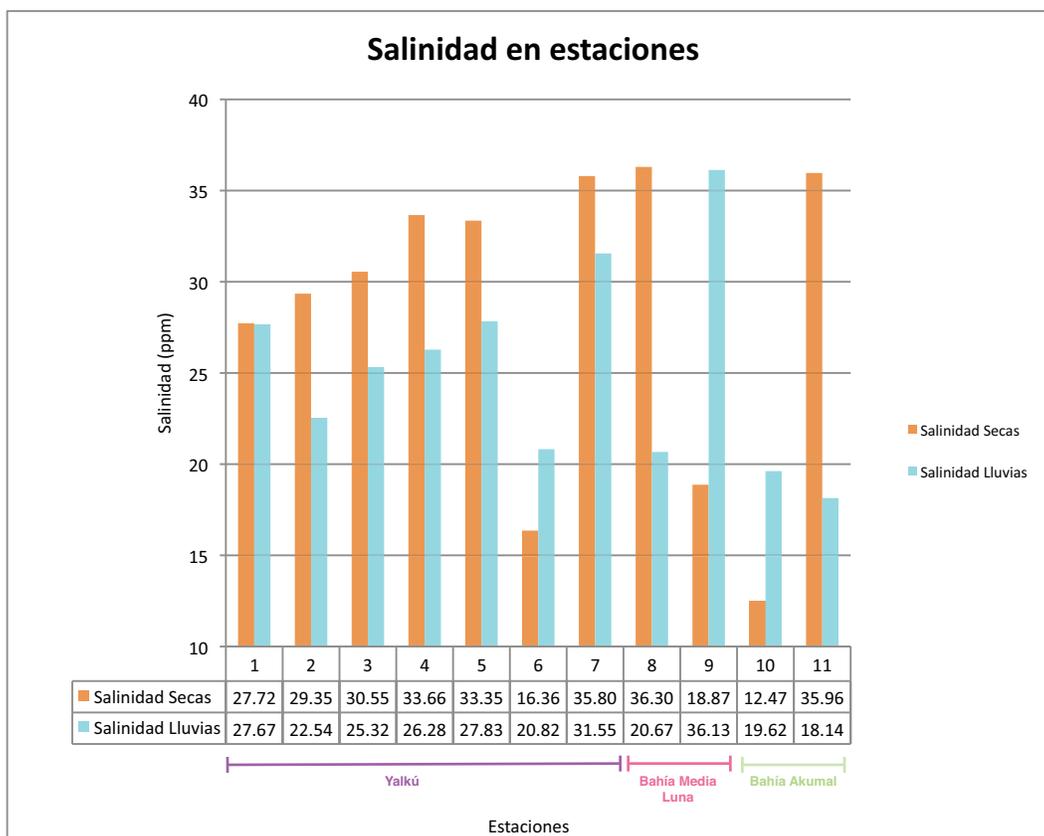


Figura 7. Diferencia de salinidad en temporada de secas y lluvias en las estaciones establecidas por el CICY para el área de la laguna de Yalkú, Bahía Akumal Norte y Sur.

10.4 Análisis del POBAk y el CEA en base a indicadores socioeconómicos y de gobernabilidad

Dado el estado de condición arrecifal ya descrito, se consideró de suma importancia evaluar las estrategias de manejo que se implementan en la zona mediante el uso de indicadores y evaluaciones de contenido del POBAk.

En base al Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica del Programa Ambiental para Centroamérica presentado por el Programa Sistema Arrecifal Mesoamericano (2004) se tomaron los indicadores socioeconómicos y de gobernabilidad para evaluar al área (Anexo 7). Los resultados presentados son el promedio de las respuestas de el Director del Centro Ecológico Akumal y del encargado del Programa comunitario de Ordenamiento marino de las Bahías de Akumal (POBAk) por ser considerados los más adecuados para realizar esta encuesta sobre la visión del área (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de cobertura del POBAk en aspectos socioeconómicos y de gobernabilidad

	Calificación Obtenida / Calificación Máxima	Calificación final (CO/ CM)	Porcentaje de éxito
Indicadores socioeconómicos			
Contexto	14.5 / 20		
Proceso	5.5 / 10		
Impactos	13.5 / 20		
<u>Calificación Final</u>	33.5 / 50	0.67	67
Indicadores gobernabilidad			
Contexto	12 / 20		
Planificación	36 / 50		
Insumos	23.5 / 35		
Procesos	7 / 10		
Resultados	9 / 15		
Impactos	2.5 / 5		
<u>Calificación final</u>	90 / 135	0.6667	66.67

Los indicadores utilizados en el aspecto socioeconómico fueron dirigidos a las siguientes áreas (Tabla 6):

Tabla 6. Indicadores tomados de SAM (2004).

Elemento	Indicadores potenciales
Contexto	IC1. Empleos dependientes de los recursos marinos
	IC2. Prácticas e intensidad de Uso local de recursos marinos
	IC3. Estado de infraestructura de servicios
	IC4. Identificación de grupos de interés
Procesos	IP1. Distribución del conocimiento formal a la comunidad
	IP2. Participación de los grupos de interés
Impactos	II1. Prácticas e intensidad de uso local de recursos marinos
	II2. Empleos por actividades relacionadas con los recursos
	II3. Actores locales que liderean la gestión del AMP
	II4. Participación de los grupos de interés

Mientras que los de gobernabilidad estuvieron dirigidos en base a los indicadores mencionados en la Tabla 7.

Tabla 7. Indicadores tomados de SAM (2004).

Elemento	Indicadores potenciales
Contexto	IC1. Estatus Legal
	IC2. Demarcación de límites
	IC3. Instrumentos legales y administrativos que establecen las
	IC4. Identificación de Amenazas
Planificación	IPL1. Cumplimiento de objetivos del área
	IPL2. Personal para el manejo del área
	IPL3. Plan de Manejo
	IPL4. Plan Operativo
	IPL5. Programa de Educación ambiental
	IPL6. Programa de Comunicación
	IPL7. Plan de Financiamiento de largo plazo
	IPL8. Programa de Monitoreo y Evaluación
	IPL9. Programa de Control y vigilancia
	IPL10. Programa de Investigación
Insumos	II1. Presupuesto
	II2. Infraestructura
	II3. Equipo
	II4. Señalización y/o Rotulación
	II5. Personal necesario
	II6. Personal capacitado
	II7. Programa de voluntariado
Procesos	IP1. Mantenimiento de infraestructura y equipo
	IP2. Mecanismos para registro de ilícitos
Resultados	IR1. Nivel de satisfacción del personal
	IR2. Implementación Plan de Manejo
	IR3. Mecanismo de captación de ingresos
Impactos	IIM1. Nivel de participación social

El análisis de los resultados del instrumento muestra que en el aspecto socioeconómico, se cumple con un 67% de los indicadores, teniendo carencias en el estado de infraestructura de

los servicios, a pesar de que existe un plan de mejoramiento de los mismos en ejecución, pero que todavía no alcanza los niveles recomendados para el manejo de los recursos. Por otro lado los indicadores de la encuesta señalan que falta mantener relación de trabajo con el 25% de los grupos de interés identificados. En cuanto al impacto, falta aumentar la participación de los grupos de interés así como la distribución del conocimiento formal a la comunidad y la inclusión de los actores locales en las tomas de decisiones del área.

En el aspecto de gobernabilidad, solo se alcanza un 66.6% de la calificación máxima de acuerdo a los indicadores empleados, comenzando por el estatus legal del área, ya que la propuesta de declaración del área está apenas en proceso y los límites del área protegida, a pesar de estar definidos en el documento, no cuentan con un soporte legal, ni se encuentran marcados en el campo. La participación social es parcial, correspondiente a las ocasiones en las que el administrador del área lo requiere. En cuanto al plan de comunicación, si existen tanto disponibilidad técnica como equipo y materiales suficientes para ejecutar un plan de comunicación a través del cual se divulgue a la comunidad lo que acontece dentro del área. Y por último, se identificó como faltante la ejecución del proceso de evaluación del impacto en la población meta.

Además, esta encuesta arroja que, para el área, no existe un análisis de amenazas en el cual se identifiquen y se de prioridad de atención a las mismas, y en consecuencia existe la necesidad de la inclusión de estos aspectos en el plan de manejo, con objetivos particulares enfocados a su atención. En el aspecto de planificación se tienen objetivos claros pero que no se cumplen, probablemente como resultado de la falta de 25 a 50% del personal que el área requeriría para su correcto funcionamiento, y que el plan de manejo aún está en elaboración. Sin embargo, existe un plan operativo que se encuentra en implementación, así como actividades de educación ambiental.

En cuanto al plan de financiamiento, existe actualmente uno a largo plazo pero que carece de instrumentación, y respecto al programa de monitoreo y evaluación existe un plan, que se ejecuta solamente de manera parcial. Para el programa de control y vigilancia, existe un programa que se implementa parcialmente ya que carece de acciones sistemáticas. Por último, el plan de investigación existe y tiene algunas acciones implementadas, pero se considera poco adecuado a las necesidades de manejo identificadas.

Las carencias mas notables se identificaron en la sección insumos ya que hace falta de un 50-70% del presupuesto que el área protegida necesitaría en costos de inversión y operación; falta 50% de infraestructura que el área requiere para su manejo básico así como

50% del equipo idóneo y el 50% del mantenimiento de los mismos. Existe el 50% de la señalización necesaria en el área, el 50% del personal necesario para su administración y sólo un 75% del personal está capacitado para ejecutar sus funciones. Un programa que está bien estructurado, fomentado y alimentado es el programa de voluntariado.

Por último, el 60% del personal se considera satisfecho con sus condiciones de trabajo y apenas el 50% de los programas y subprogramas del plan de manejo se están implementando. Hay mecanismos de captación de ingresos, pero los ingresos son insuficientes y la participación social es parcial, siendo requerida la comunidad únicamente para algunas actividades concretas.

● **10.5 Análisis del POBAk**

El Programa Comunitario de Ordenamiento Marino de las Bahías de Akumal, está estructurado de tal forma que cuenta con siete capítulos (I. Introducción, II. Objetivos III: Descripción del área bajo ordenamiento, IV. Diagnóstico y problemática, V. Esquema administrativo, VI. Zonificación y VII. Ordenamiento) dentro de los cuales se crearon diversas subdivisiones según el tema. Tiene una sección de anexos que contienen las descripciones de uso al interior de las bahías. Para realizar el análisis de contenido se extraen a continuación las secciones identificadas como relevantes en el programa y se vinculan algunas secciones con el fin de identificar la congruencia entre las estrategias que proponen y los objetivos que se tienen.

Sección IV. Diagnóstico y problemática

Este apartado del POBAk se analizan las problemáticas ambientales, demográficas, sociales y económicas, presencia y coordinación institucional, y gestión y consenso del programa de ordenamiento. Con base en el análisis de las estrategias y reglamentaciones propuestas en el POBAk, se generó la tabla 8 en donde se especifican las problemáticas que identifica el POBAk y en las columnas siguientes se evalúa si hay estrategias o reglamentaciones dirigidas a resolverlas o reducirlas.

Tabla 8. Evaluación de las propuestas de estrategias y reglamentaciones dirigidas a cumplir los objetivos del POBAK.

Diagnóstico y problemática					
Problemáticas			¿Se abarca la problemática con las estrategias y reglamentaciones propuestas?		
			SI (✓)	PARCIAL (≈)	NO (x)
Ambientales	Origen antropogénico	Crecimiento poblacional			x
		Acelerado desarrollo costero y económico			x
		La contaminación del agua del manto freático por contaminantes orgánicos e inorgánicos que se originan de desarrollos turísticos, hoteles y casas habitación.			x
		La contaminación por aportes oceánicos			x
		El incremento en la intensidad de uso por actividades náuticas turísticas y acuáticas recreativas.	✓		
		La sobre pesca	✓		
	Origen natural	El calentamiento global y del agua marina.			x
		El incremento en la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes.			x
		El incremento en la incidencia de enfermedades que afectan a organismos marinos.			x
	Demográficas, sociales y económicas	Alta tasa de crecimiento poblacional			
Consecuente incremento habitacional				x	
Demanda turística			≈		
La presencia y coordinación institucional	Aplicación de la ley vigente y las actividades de inspección y vigilancia			≈	
Gestión y consenso del programa: No se analiza nada al respecto debido al poco tiempo de aplicación del programa.					

Sección VI. Zonificación

El POBAk realizó una zonificación general (Figura 8) y al interior de cada bahía o caleta realizó una subzonificación de acuerdo con sus características naturales y de uso particulares.

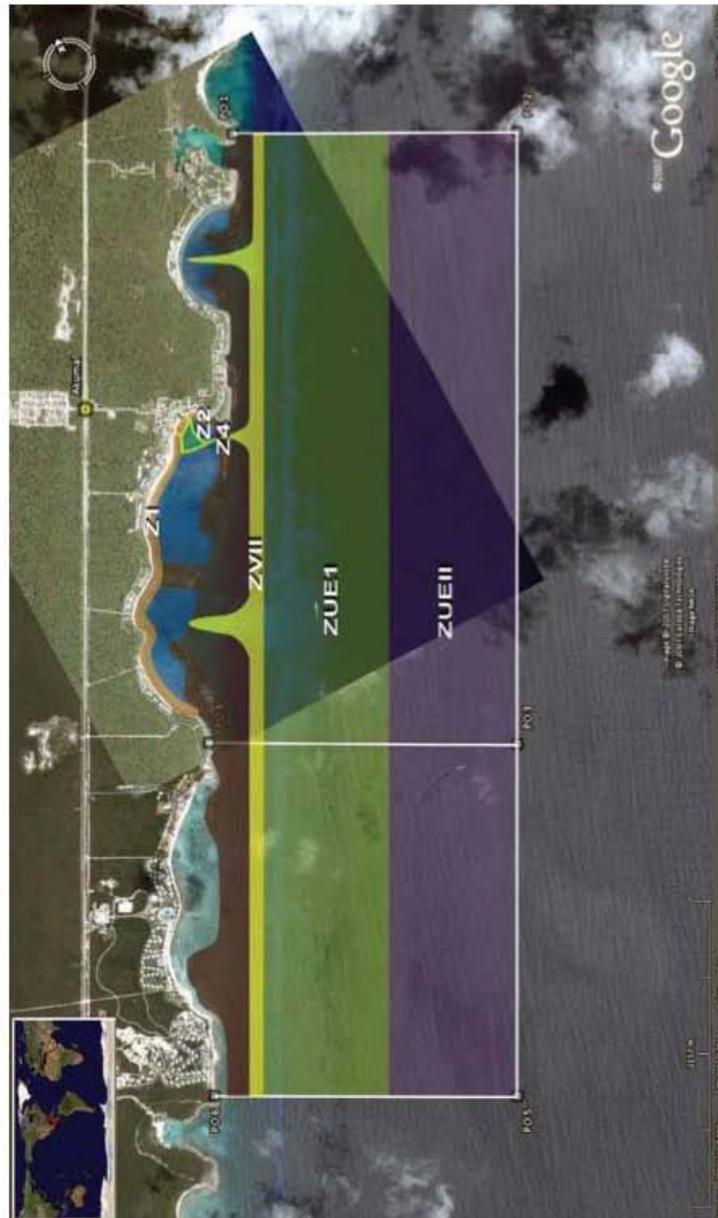


Figura 8. Mapa de zonificación general del área propuesta bajo ordenamiento. Al interior de la Bahías y Caleta de Yaku se define una sub-zonificación. Tomada del POBAk.

A continuación se citan las descripciones de hábito o vocación natural de cada una de las bahías descritas en el POBAk:

“Caleta de Yal-Ku.

El margen costero es rocoso y no existen áreas de playa arenosa importantes. La actividad permitida en la ZOFEMAT es el descanso y la contemplación de la naturaleza. Se permiten actividades de natación y snorkel. Se prohíbe la navegación interna con cualquier tipo de embarcación motorizada o no motorizada así como la pesca. Tiene por tanto una zona de uso semi-intensivo y una de uso educativo.

Bahía de la Media Luna

Se trata de una Bahía de aguas muy someras, donde la profundidad media al interior es de aproximadamente 1.5m. El fondo presenta numerosos bajos arrecifales de colonias de corales masivas y ramificadas. La navegación se restringe a un estrecho canal cuyo punto de acceso está delimitado por boyas de señalización. Se contempla como permitida solo la navegación de embarcaciones locales con fines de aproximación y fondeo. No está permitido el acceso de embarcaciones de visitantes para el fondeo dentro de la bahía ya que no existe espacio ni lugares adecuados para su navegación o fondeo. La ZOFEMAT y el área marina son denominadas zonas de uso intensivo y semi-intensivo respectivamente.

Bahías de Akumal y Aventuras Akumal

Se trata de un área destinada esencialmente a la natación, buceo libre y con áreas para la capacitación para el buceo. No está permitida la pesca ni la navegación fuera del canal de navegación interna. De acuerdo con el plano de zonificación al interior de esta Bahía se encuentran las siguientes zonas:

Canal de navegación interna, zona de uso intensivo para actividades de playa, zona de uso semi-intensivo para actividades de nado y a snorkel (zonas de protección de tortugas y parches arrecifales) y zona de uso educativo y capacitación para el buceo.”

Las zonas establecidas de manejo fueron las siguientes:

Zona I	Uso Recreativo intensivo.
Zona II	Uso educativo e interpretación ambiental.
Zona III	Canal de seguridad.
Zona IV	Zona para navegación en la Bahía de Akumal.
Zona V	Amarre de embarcaciones.
Zona VI	Uso recreativo semi-intensivo
Zona VII	Zona para navegación externa.
Zona VIII	Zona de uso recreativo especial.
Zona IX	Uso científico.

Las principales actividades permitidas y prohibidas por zona (I-IX) en base a la reglamentación del POBAk están relacionadas a la vocación identificada en cada área (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen de las principales actividades permitidas y prohibidas por el POBAk dentro de cada una de las zonas mencionadas anteriormente.

Zona	Descripción	Actividades permitidas	Actividades prohibidas
Zona I	Utilizada para recreación de playa y natación. Abarca la ZOFEMAT y los primeros 50 mts. del área marina adyacente.	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades recreativas de playa y natación. - Con aviso a la administración del Área, actividades de educación ambiental. - Con aprobación del Comité para el Ordenamiento (CO) de cada Bahía, comercializar servicios turísticos y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Buceo nocturno y la navegación de cualquier clase. - La pesca de cualquier clase. - La comercialización de recorridos turísticos. - La venta de alimentos y vendedores ambulantes. - El ingreso de perros o mascotas.
Zona II	Esta zona es la que la gente utiliza para un primer contacto con la comunidad coralina y el avistamiento de organismos marinos. Por sus características se establece como la zona ideal para desarrollar la educación ambiental y recorridos interpretativos.	<ul style="list-style-type: none"> - Por la fragilidad de la comunidad coralina, solamente actividades de educación e investigación. - Se puede realizar la capacitación para el buceo, la natación y, dando aviso a la administración del Área, la educación ambiental y la investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cualquier actividad que pueda afectar a la comunidad coralina, como tocar o pararse sobre los corales, el anclaje y la pesca o cualquier tipo de extracción de recursos naturales. - Para evitar accidentes no se permite la navegación.
Zona III	Estos canales se crearon para delimitar los senderos de nado o esnorkel hasta la zona de arrecifes y de observación de organismos marinos, siguiendo las reglas de seguridad pertinentes para evitar accidentes.	<ul style="list-style-type: none"> - Natación, esnorkel, investigación, monitoreo y restauración (con los permisos federales correspondientes). - La navegación se limita en velocidad a 3 nudos en los puntos de intersección de esta zona con el canal de navegación. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se permiten actividades educativas, turísticas subacuáticas y pesca.
Zona IV	Por lo estrecho de las bahías este canal de navegación interna tiene una amplitud máxima de 20 metros y se delimita por boyas de señalización.	<ul style="list-style-type: none"> - Con permisos correspondientes la investigación y el monitoreo. - Con autorización de la SAGARPA, la colecta científica o educativa y la restauración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Anclaje, pesca, buceo, ecoturismo, educación ambiental, fotografía y vídeo submarinos, así como la natación.
Zona V	Incluye las áreas destinadas al fondeo de embarcaciones de permisionarios y para operaciones de embarque y desembarque. Estarán ubicadas al margen de zonas de protección especial y uso semi-intensivo.	<ul style="list-style-type: none"> - El amarre de embarcaciones de operadores náuticos y las operaciones de embarque y desembarque. 	<ul style="list-style-type: none"> - El anclaje, la pesca, el buceo, el ecoturismo, la educación ambiental, la fotografía y vídeo submarinos, así como la natación. - Realizar operaciones de mantenimiento mecánico a los motores de las embarcaciones en esta Área. - Arrojar desperdicios producto de la limpieza de las embarcaciones hacia el mar. - Realizar actividades de limpieza de escama o cualquier otro producto de actividad pesquera.

Continuación Tabla 9. Resumen de las principales actividades permitidas y prohibidas por el POBAK dentro de cada una de las zonas mencionadas anteriormente.

Zona	Descripción	Actividades permitidas	Actividades prohibidas
Zona VI	Zona utilizada por los prestadores de servicios turísticos de las Bahías de Akumal para llevar a visitantes a recorridos de buceo libre. Uso semi-intensivo.	<ul style="list-style-type: none"> - Buceo libre (snorkel) - Ecoturismo, video y fotografía submarina. - El amarre a boyas (a no menos de 15 metros del arrecife). - Con aviso educación ambiental, investigación y monitoreo. - Esnorkel diurno - Con autorización de SAGARPA colecta con fines de monitoreo, científicos y de restauración. - Anclaje de elementos de salvamento y establecimientos limitantes del arrecife sólo por la admin. del área. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se permiten embarcaciones mayores a 33 pies, ni plataformas. - Navegación de embarcaciones motorizadas y no motorizadas de calado mayor a 0.5 metros. - Recorridos de embarcaciones con fondo de cristal. - Anclaje, aprovechamiento extractivo de recursos naturales, colecta con otros fines que no sea el científico. - Ningún tipo de pesca. - Se prohíbe aproximarse a menos de 2mts de distancia a las tortugas marinas y otros organismos de la bahía.
Zona VII	La profundidad en esta zona va de los 7 a los 12 m. Se encuentra al este de la cresta arrecifal y se utiliza cotidianamente para la navegación de paso y dirigida a las zonas de uso especial para el buceo autónomo y la pesca deportiva.	<ul style="list-style-type: none"> - Navegación a velocidad libre. - La pesca de auto consumo, permitida solo con anzuelo y desde embarcación. - Con previo aviso a la administración, la educación ambiental, la investigación y el monitoreo. - Con permiso de la SEMARNAT el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el buceo diurno, el ecoturismo, la colecta de flora y fauna de elementos del ambiente, con fines científicos o educativos, la fotografía y vídeo submarinos; así como la colecta científica o educativa y la restauración. 	<ul style="list-style-type: none"> - El anclaje - La pesca deportiva - La natación.
Zona VIII	<p>Esta zona incluye las áreas arrecifales externa, que son profundas, cuentan con corrientes fuertes y/o las formaciones arrecifales son más frágiles, por lo que actualmente son utilizadas por buzos que tienen certificación y por permisionarios de pesca deportiva.</p> <p>Se definen dos zonas de uso especial:</p>		

Continuación Tabla 9. Resumen de las principales actividades permitidas y prohibidas por el POBAK dentro de cada una de las zonas mencionadas anteriormente.

Zona	Descripción	Actividades permitidas	Actividades prohibidas
Cont. Zona VIII	<p>ZUE 1. Zona de Buceo autónomo certificado: Ubicada después del canal de Navegación externa a partir de la primera franja de canales de arena y macizos arrecifales a aprox. 7 mts. de profundidad, y se extiende hasta los 40 mts, después de la segunda franja de canales de arena y macizos arrecifales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Buceo particular (requiere certificación técnica) y la navegación menor a tres nudos alrededor de los sitios de buceo. - Se necesita dar aviso a la administración para realizar educación ambiental, investigación y monitoreo. - El buceo autónomo siempre que esté certificado y el buceo libre cuando se cuente con alto nivel de control de flotabilidad y medidas de seguridad adecuadas. - Los guías de buceo deben ser certificados por el curso de capacitación de buenas prácticas, impartido por la administración del área. - Con permiso, se pueden realizar el ecoturismo y la interpretación ambiental, la fotografía y vídeo submarinos. - Requieren autorización de la SAGARPA la colecta de flora y fauna y otros recursos biológicos con fines científicos y la restauración. - Solamente son realizables por la administración del Área el anclaje de elementos flotantes de salvamento y el establecimiento de elementos limitantes de acercamiento al arrecife. 	<ul style="list-style-type: none"> - El anclaje. - El aprovechamiento consuntivo de recursos naturales. - La colecta con otros fines que no sea el científico. - La pesca de cualquier tipo.
	<p>ZUE 2. Zona para pesca deportiva certificada: Inicia después de la línea que marca los 40 mts. de profundidad y se extiende hasta el límite este del Polígono bajo ordenamiento, a los 60 mts. de profundidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es permitida la Pesca Deportiva a los operadores que cuenten con los permisos requeridos por la SAGARPA y SCT. - La navegación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por el riesgo que representa esta prohibido el buceo y natación.
Zona IX	<p>Esta zona incluye las formaciones someras de la cresta y los parches arrecifales al interior de la Bahía cuya profundidad es menor a 0.7 metros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Con aviso a la administración, se puede realizar la investigación y el monitoreo. - Requieren autorización de la SAGARPA la colecta científica o educativa y la restauración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Anclaje. - Aprovechamiento de recursos naturales. - Buceo. - Ecoturismo e interpretación ambiental. - Educación ambiental. - Fotografía y video-grabación. - Navegación.

Sección VII. Ordenamiento

En esta sección se incluyen las reglas más importantes, identificadas a través de la evaluación del POBAK, para el cumplimiento de los objetivos planteados por el POBAK. Estas, provienen del reglamento administrativo en los campos de operación, prohibiciones y control y vigilancia que consta de reglas, estrategias y acciones.

Para un adecuado análisis de esta sección, se realizó una síntesis en la cual se citan los objetivos generales del POBAK y se vinculan a sus reglas respectivas. Esta vinculación de secciones nos ayuda a determinar la capacidad que tienen las estrategias de manejo propuestas en el programa para alcanzar el cumplimiento de los objetivos específicos y generales planteados.

Objetivo general 1) Ordenar y controlar el aprovechamiento de los recursos naturales en las Bahías de Akumal.

Objetivos específicos.

- 1.1. *Generar sistemas, procedimientos y herramientas que permitan el ordenamiento integral de las Bahías de Akumal en términos de su uso, densidad y flujo de visitantes y usuarios y de la aplicación de la normatividad vigente.*
 - Regla 6. *En el caso de que por razones de conservación y protección de las Bahías de Akumal y con base en un sustento técnico adecuado generado por estudios específicos y/o por los resultados del monitoreo, los cuales se pondrán a disposición para consulta pública en las oficinas del Centro Ecológico Akumal, se compruebe que existe un riesgo inminente de desequilibrio ecológico; los Comités Consultivos solicitaran a la Capitanía de Puerto (SCT) y a la SEMARNAT el prohibir o limitar cualquier actividad náutica o acuático recreativa, o bien, en caso de que se determinen condiciones favorables, su posible incremento, considerando para tal efecto la aplicación de la normatividad aplicable.*
 - Regla 8. *Se requerirá permiso por parte de la SEMARNAT, la SCT, la SAGARPA, y la administración del área, para la realización de las siguientes actividades: I. Prestación de servicios para la realización de actividades acuáticas recreativas. II. Filmación, video-grabación y fotografía con fines comerciales. III. Pesca deportivo-recreativa.*
 - Regla 18. *Las embarcaciones que así lo requieran y que pretendan ingresar a la Bahía de Akumal para la prestación de servicios recreativos, deberán contar con los permisos expedidos por la SCT, específicos para navegación dentro de la bahía y solo para operación turística en la zona, horarios y actividad autorizados bajo solicitud de los Comités Consultivos.*
 - Regla 21. *Queda prohibido el uso de embarcaciones para la realización de actividades sobre las formaciones coralinas o sitios de nado. Sólo podrán ser usadas en las zonas que para tal efecto se establezcan de conformidad a la zonificación de la Bahía.*

- *Regla 24. Queda prohibido realizar cualquier actividad de mantenimiento, limpieza, reparación de embarcaciones, abastecimiento de combustible y achicamiento de las sentinas dentro de las Bahías de Akumal.*
- *Regla 49. Todo proyecto de obra pública o privada que se pretenda realizar dentro de la Bahía de Akumal o en la zona federal marítimo terrestre adyacente, deberá ser congruente con los lineamientos establecidos en el POBAK y las demás disposiciones jurídicas aplicables, así como contar previamente a su ejecución, con la autorización de impacto ambiental correspondiente, en términos de la LGEEPA y su Reglamento en materia de Impacto Ambiental.*
- *Regla 54. Con la finalidad de cumplir con los objetivos de protección de la Bahía de Akumal, se establecen las 9 Zonas de Manejo.*
- *Tabla de límites máximos de embarcaciones y usuarios en la Bahía de Akumal.*
- *1.2. Establecer mecanismos de control sobre la utilización de las Bahías de Akumal en todas sus formas a efecto de procurar la preservación de sus ambientes marinos representativos en el largo plazo.*
- *Creación del polígono para el área bajo ordenamiento marino (De Yalku a Aventuras Akumal y al este hasta la isóbata 60m con el propósito de incluir, como parte del área bajo ordenamiento, las extensas y bien desarrolladas formaciones arrecifales presentes frente a las costas de Akumal) (Figura 9).*

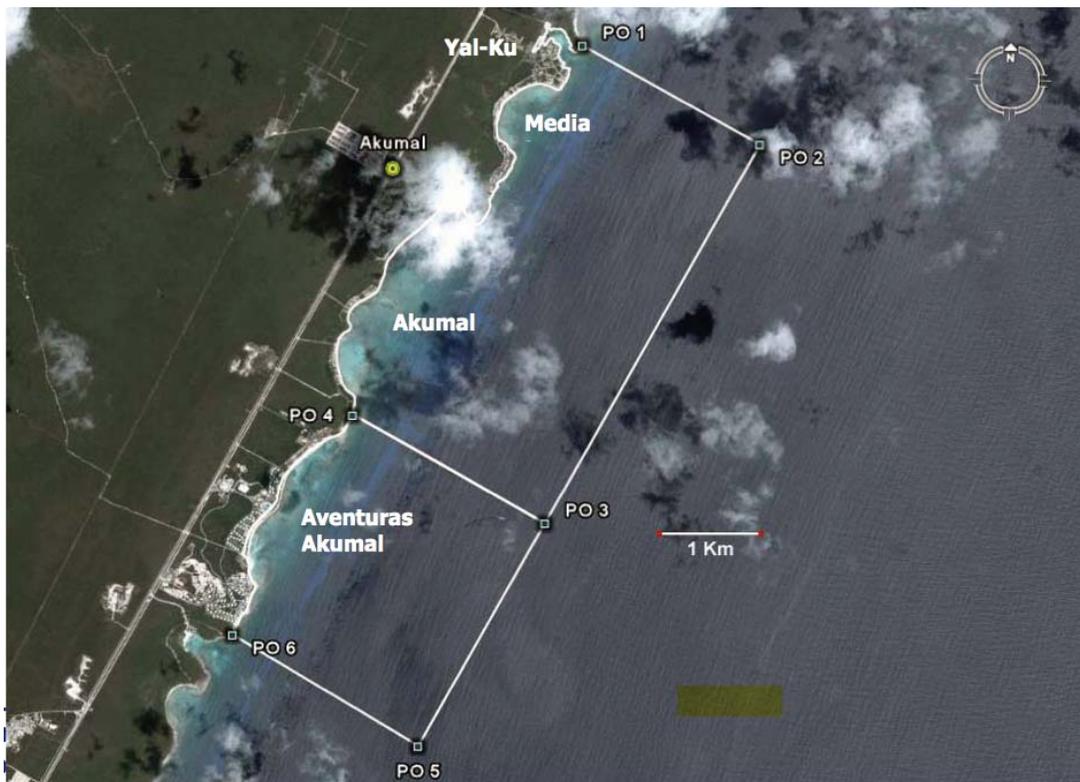


Figura 9. Área bajo ordenamiento. La línea blanca delimita los polígonos que, incluyendo la Zona Federal Marítimo Terrestre, representan una superficie total de 1635.3 hectáreas (16.353 km²). (Imagen tomada del POBAK).

Tabla de límites máximos de embarcaciones y usuarios en la Bahía de Akumal (RII).

- *Señalización: Se establecieron señalamientos sobre las zonas de las Bahías de Akumal, así como de las reglas, normas y lineamientos más importantes en dichas zonas. A detalle: sistema de boyas y letreros en las entradas de las áreas más accesibles por vía terrestre y/o marina; instalación de boyas y señalamientos que indiquen los sitios destinados a fondeo; boyas y señalamientos en las zonas con mayor utilización por permisionarios de actividades acuáticas recreativas; boyas para delimitar las zonas de nado, en las áreas más concurridas; en las playas más concurridas de las Bahías, letreros y avisos que indiquen la zonificación y zonas de influencia, con especial mención de la zona en que está el lector, las particularidades de esa zona y la manera de obtener mayor información sobre las Bahías de Akumal y su Ordenamiento. Presentadas en español e inglés.*
- *Regla 6 (mencionada en primer objetivo)*
- *Regla 23. El prestador de servicios instrumentará a bordo de su embarcación, el uso de trampas para grasas u otros mecanismos similares, para evitar que las aguas de las sentinas se mezclen con los combustibles, grasas y aceites.*
- *Regla 42. El número de embarcaciones o grupos autorizados para brindar estos servicios en la Bahía de Akumal, así como el número máximo de usuarios por día, deben sujetarse en todo momento a los límites máximos que se determinan en la tabla RII. De acuerdo con el Plan de Manejo aprobado por la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT (Oficio SGPA/DGVS/02696/09 aprovechamiento no extractivo).*
- *Regla 43. En las zonas permitidas de conformidad con la zonificación de la Bahía, el número máximo de usuarios por cada guía durante los recorridos de buceo libre es de ocho.*
- *Regla 48. Queda prohibido pescar con fines comerciales o deportivos fuera de las zonas definidas en la zonificación, así como aumentar la cuota de explotación o con artes de Pesca no autorizadas.*
- *Regla 52. Dentro de la Zona Federal Marítimo Terrestre no se permite el acceso sin control de perros y gatos, así como la permanencia de residuos fecales de los mismos en la playa.*
- *Regla 54. Con la finalidad de cumplir con los objetivos de protección de la Bahía de Akumal, se establecieron las IX Zonas de Manejo.*
- *1.3. Asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos, a favor principalmente de la comunidad de Akumal.*
 - *Regla 31. Los prestadores de servicios recreativos locales (originarios de la Comunidad de Akumal), podrán realizar actividades en todas las zonas de uso, debiendo respetar los límites y capacidades de carga de las mismas y la presente reglamentación.*
 - *Regla 47. La pesca comercial sólo se podrá realizar fuera de las Bahías de Akumal, sobre las especies y con las artes de pesca autorizadas en los permisos o concesiones correspondientes de las autoridades Federales Competentes.*

Objetivo general 2) “Rescatar, Preservar y Conocer los Ecosistemas Marinos de las Bahías de Akumal”

Este objetivo cuenta contiene 3 objetivos específicos en los cuales a través del análisis del documento se han establecido los reglamentos y estrategias asociados que apuntan al cumplimiento de los mismos:

Objetivos específicos.

2.1. Garantizar, a través de los diversos mecanismos de ordenamiento y control, el rescate de la flora y fauna marina de la Bahías de Akumal así como su preservación, limitando su uso al tiempo que se establecen medidas preventivas, informativas y restrictivas con el consenso de los diversos sectores y grupos comunitarios involucrados en su uso y disfrute.

Regla 9: Se requiere de autorización por parte de las dependencias federales y de aviso a la administración del área, de conformidad con las disposiciones legales aplicables, para la realización de las siguientes actividades: I. Aprovechamiento de flora y fauna silvestres (SEMARNAT). II. Colecta de flora y fauna, así como de otros recursos biológicos con fines de investigación científica o educativa (SAGARPA). III. Realización de obra pública o privada (Varias dependencias: SEMARNAT, SCT, SAGARPA). IV. Restauración y/o repoblamiento, en aquellas áreas terrestres o marinas que así lo requieran (SEMARNAT). V. Pesca y acuicultura didáctica (SAGARPA).

Regla 56. En el la Bahía de Akumal, queda expresamente prohibido:

- Verter o descargar aguas residuales, aceites, grasas, combustibles, desechos sólidos, líquidos o de cualquier otro tipo; usar explosivos o cualquier otra sustancia que pueda ocasionar alguna alteración a los ecosistemas así como tirar o abandonar desperdicios en las playas.
- Realizar actividades de mantenimiento a embarcaciones y motores, que impliquen el uso de solventes, pinturas, aceite o grasa. Así como el raspado del casco de embarcaciones con lijas, cepillos, espátulas o cualquier otra herramienta o método que pueda provocar el desprendimiento de pintura del casco y su deposición en las aguas de la Bahía.
- El uso de insecticidas, fungicidas, pesticidas, así como la utilización inadecuada de detergentes e hidrocarburos.
- Realizar actividades de dragado o de cualquier otra naturaleza que generen la suspensión de sedimentos o provoquen áreas con aguas fangosas o limosas dentro de la Bahía o zonas aledañas.
- El uso de explosivos.
- Colectar, capturar especies, extraer flora o fauna marina o terrestre, viva o muerta, así como sus restos y otros elementos biogenéticos, sin autorización de la SEMARNAT.
- Introducir especies vivas ajenas a la flora y fauna propias de la Bahía; así como transportar especies de una comunidad a otra, sin la autorización correspondiente.
- Alimentar, perseguir, acosar, molestar o remover de cualquier forma a la flora y fauna silvestres.
- La pesca de autoconsumo con arpón.
- Instalar o anclar plataformas o infraestructura de cualquier índole, que afecte las formaciones coralinas.
- Amarrarse a las boyas de señalización.

- *El arrastre de artefactos para recreación, como esquís acuáticos, bananas, paracaídas y demás similares.*
- *La ejecución de obras públicas o privadas, sin la autorización correspondiente por parte de la SEMARNAT.*
- *Ingresar, sustituir y/o utilizar embarcaciones diferentes a las permitidas para la prestación de servicios recreativos.*
- *Utilizar guantes y cuchillos en el buceo libre y guantes en el buceo autónomo.*
- *Alumbrar directamente a los ojos con una lámpara a cualquier especie animal.*
- *La modificación de la línea de costa, la creación de playas artificiales, la remoción o movimiento de dunas, así como rellenar y/o talar zonas de manglares y/o humedales.*
- *Alterar o destruir los sitios de anidación o refugio de fauna silvestre. La alteración o erradicación de los pastos marinos vivos.*
- *El uso de reflectores y lámparas enfocados hacia el mar, después de las 19:00 horas y hasta las 6:00 horas.*
- *Dañar o apropiarse de cualquier sistema de boyeo, balizamiento y señalamiento en la Bahía.*
- *Tocar, pararse, dañar, pisar, sujetarse, arrastrar equipo, remover el fondo marino o provocar sedimentación sobre las formaciones y organismos arrecifales.*
- *Llevar un número de usuarios mayor a los permitidos por embarcación o por instructor, durante la actividad de buceo libre o autónomo.*
- *El uso de motos acuáticas del tipo jet ski, "wave runners", "aqua ray", etc. El uso de las embarcaciones biplaza. Las actividades de "Kiteboarding", "Wind surf", etc.*
- *Emplear dardos, anzuelos, arpones, fármacos, palangres, redes agalleras y cualquier otro equipo o método que dañe a los organismos de fauna y flora acuáticas, que no sea autorizado oficialmente como arte de pesca o que se utilice fuera de las zonas permitidas para dicha actividad.*
- *La utilización de altoparlantes y equipo que emita o reproduzca sonido a mayor volumen de 55 decibeles.*
- *Toda actividad que implique la extracción y/o el uso de recursos genéticos con fines de lucro.*
- *Construir muelles, embarcaderos, atracaderos o cualquier infraestructura portuaria o de otra índole en el área marina próxima a las formaciones arrecifales.*

👤 *2.2. Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial, como las de tortuga marina (Chelonia mydas; tortuga verde y Eretmochelys imbricata; tortuga de carey).*

👤 *Regla 6 (mencionada en objetivos anteriores)*

👤 *Regla 56 (mencionada en el objetivo específico anterior).*

👤 *2.3. Proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.*

👤 *Regla 11. Con la finalidad de proteger los recursos naturales de las Bahías de Akumal y brindar el apoyo necesario por parte de la Administración del área, los responsables de los trabajos deberán de dar aviso al personal de la misma, previo a la realización de las siguientes actividades y de conformidad con la zonificación: I. Investigación y/o monitoreo científico. II. Educación Ambiental.*

📍 10.6 Necesidades identificadas para el cumplimiento de los objetivos del POBAk

A través de análisis del POBAk y el contraste de los objetivos con sus reglamentos y estrategias asociadas se identificaron necesidades de estrategias o reglas que complementen a las existentes con el fin de que se puedan cumplir los objetivos satisfactoriamente. Las necesidades se mencionan a continuación según el objetivo específico al que pertenezcan:

📍 *Objetivo 1.1. del POBAk que se refiere a la generación de herramientas, sistemas y procedimientos para el ordenamiento integral de las Bahías de Akumal.*

- a) Necesidad de mayor número de personal para monitorear y reforzar la aplicación del reglamento.
- b) Necesidad de mayor señalización para el apoyo a la comunicación y aplicación del reglamento.
- c) Necesidad de evaluación de la capacidad de carga asociada a diversas actividades.

📍 *Objetivo 1.2. del POBAk referido al establecimiento de mecanismos de control sobre la utilización de las Bahías de Akumal con el fin de procurar la preservación de sus ambientes marinos representativos en el largo plazo.*

- a) Necesidad de tratamiento de aguas previo a su disposición final.
- b) Necesidad de protección al medio terrestre adyacente al arrecife.
- c) Necesidad de un plan de saneamiento coralino.

📍 *Objetivo 1.3. del POBAk referido a asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas a favor de la comunidad de Akumal.*

- a) No se identificaron carencias.

📍 *Objetivo 2.1 del POBAk dirigido a garantizar el rescate de la flora y fauna marina de la Bahías de Akumal así como su preservación.*

- a) Necesidad de un plan de restauración arrecifal.

📍 *Objetivo 2.2. del POBAk busca salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las*

amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial, como las de tortuga marina (Chelonia mydas; tortuga verde y Eretmochelys imbricata; tortuga de carey).

a) Necesidad de un plan de uso de la playa y alrededores en época de anidación de tortugas.

💡 *Objetivo 2.3. del POBAk que busca proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.*

a) Necesidad de establecimiento de mecanismos interinstitucionales de transferencia de conocimientos.

b) Necesidad de un programa continuo de revisión de las políticas de manejo para incorporar nueva información conforme a su disponibilidad.

c) Comunicar a la comunidad el estado del área que abarca el POBAk y las acciones realizadas en el Centro Ecológico Akumal.

11.- Discusión

11.1 POBAk

El Programa comunitario de Ordenamiento marino de las Bahías de Akumal (POBAk) es un documento muy valioso por haber surgido de un comité de usuarios (representantes de hoteles, prestadores de servicios, comunidad, tiendas de buceo) que colaboró en conjunto con el Centro Ecológico Akumal; y que, en base a un acuerdo de voluntades y un convenio de colaboración de todos estos representantes, le dió la fuerza necesaria al programa para su cumplimiento y aplicación. Sumado a esto, el permiso de aprovechamiento no extractivo para el avistamiento de tortugas en las Bahías de Akumal otorgado por la SEMARNAT, ayudó a regular los tours de snorkel dentro de la bahía, así como la cantidad de turistas por tour y la cantidad prestadores de servicios que podían trabajar ahí, siendo éste último de gran importancia por haber dado preferencia a los prestadores que eran originarios del pueblo de Akumal. El último elemento que le dió soporte al POBAk fue la Capitanía de Puerto, ya que la zonificación realizada en el programa se le presentó como propuesta, el cual fue avalado por la Dirección General de Marina Mercante.

Sin embargo, el POBAk decreta que su área de protección abarca hasta los 60m de profundidad mar adentro, y la falta de un documento legal que lo soporte, sea mediante el decreto de un refugio pesquero, un plan de manejo de buceo, o un decreto de un área protegida, etc. dificulta la protección del hábitat en general. Al sólo tener como documento legal el permiso de avistamiento de tortugas se descuida la conservación tanto de los pastos marinos (zona de alimentación y refugio de las tortugas) como del arrecife de coral.

En cuanto a los objetivos, reglamentaciones y estrategias del POBAk, estos están enfocados principalmente en el uso, densidad y flujo de visitantes y usuarios en las Bahías de Akumal; y a pesar de que la implementación del POBAk es muy valiosa, y contempla estrategias a problemáticas importantes como la sobrepesca, se han identificado carencias relacionadas con el desarrollo de otras actividades que necesitarían ser atendidas con urgencia, ya que representan impactos mucho mayores al arrecife como: pérdida del tejido vivo coralino, pérdida de diversidad biológica, fragmentación de colonias coralinas al punto de la mortalidad total, incidencia de enfermedades coralinas, y en ocasiones cambios significativos en la estructura de la comunidad, en la diversidad de especies y de otros organismos asociados (Marshall & Schuttenberg, 2006; Raymundo & Harvell, 2008; Beeden *et al.* 2008).

Done & Diop (1999) hacen una propuesta para la integración entre componentes sistémicos para un manejo sustentable de ecosistemas acuáticos (Figura 10). Siguiendo esta propuesta y comparándola con el POBAK, se encontró que el POBAK si contempla varios de los procesos, pero carece de herramientas para satisfacer todos los aspectos propuestos. Como ejemplo, tenemos que en el proceso político/administrativo haría falta fortalecer la regulación del uso del área, así como la inclusión de usuarios para lograr fortalecer los sistemas socio económicos y el ecosistema acuático. Sin embargo, donde el programa presenta más carencias es en la parte de utilización de indicadores que retroalimenten la efectividad del manejo del área y conlleven a acciones que fortalezcan la aplicación y el mejoramiento del mismo.

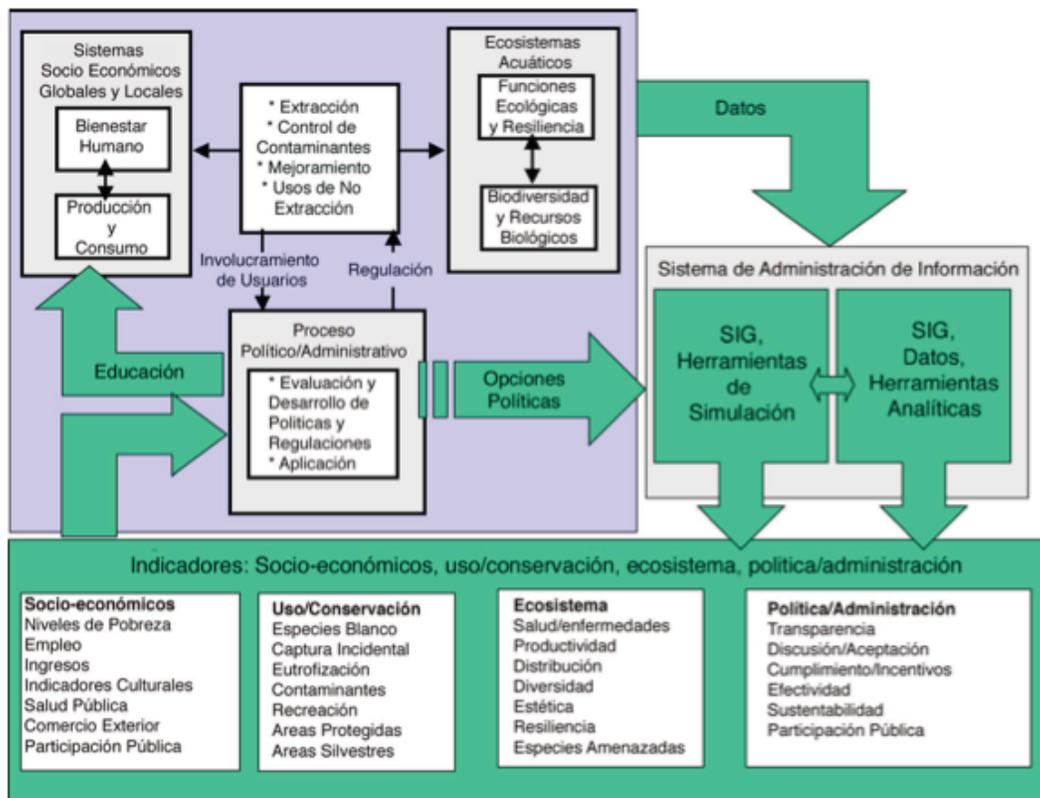


Figura 10. Diagrama de flujo para la creación de un sistema de manejo holístico de información, propuesto por Done & Diop (1999) tomado de Garza Pérez (2004).

11.2 Cobertura bentónica, enfermedades presentes y comunidad íctica del arrecife de Akumal.

A pesar de que la riqueza de especies resultante fue alta; esto no implica que la abundancia también lo sea; pues como se observa en la Figura 11, la cobertura bentónica de Akumal ha disminuido considerablemente en los últimos años, mientras que la de macroalgas ha permanecido.

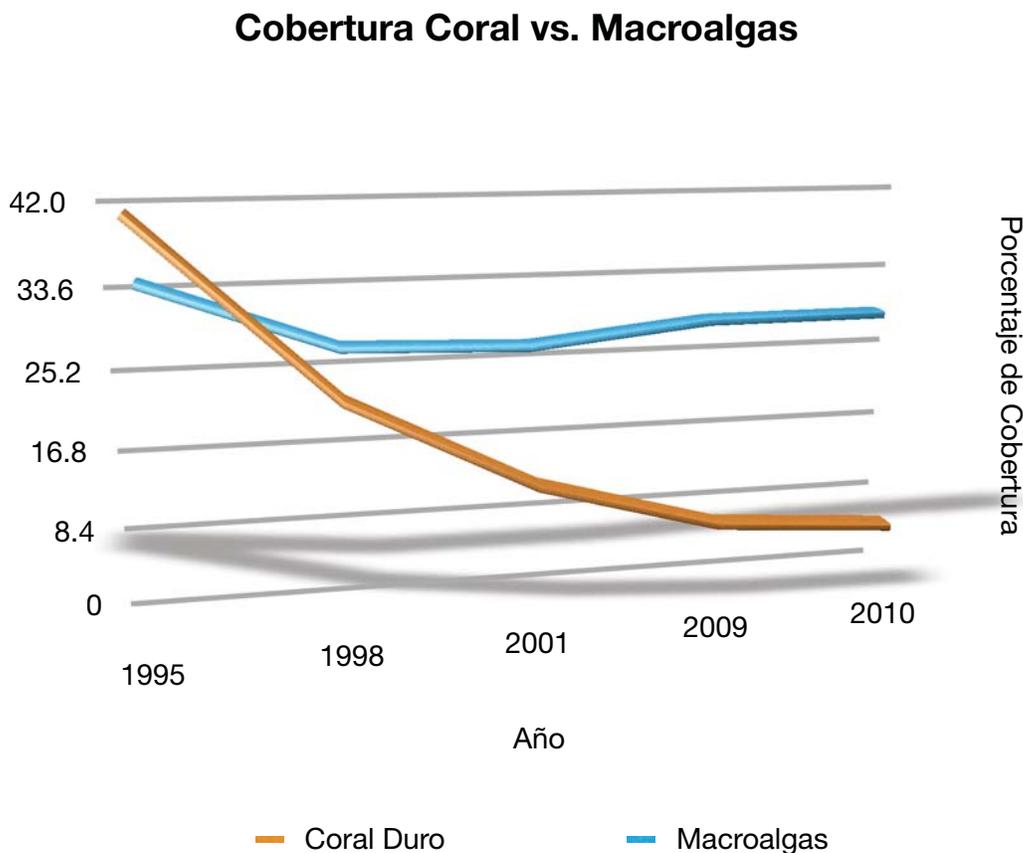


Figura 11 . Comparación de la cobertura coralina y de macroalgas a lo largo de 15 años. Datos obtenidos de Gutiérrez-Carbonel *et al.* 1995, Garza-Pérez 1999, 2004, Garza-Pérez *et al.* (no publicado) & Garza-Pérez *et al.* 2011.

En la Figura 11 se observa un cambio de fase de dominancia coralina a dominancia de macroalgas; a pesar de que del '95 al '98 hubo una disminución en la cobertura de algas, a partir de ese año ésta comenzó a incrementar, constituyendo desde entonces la cobertura dominante, mientras que la cobertura coralina ha ido en declive pasando de abarcar el 42% en 1995 a el 7.9% en 2010. En 1999, Garza-Pérez reportó que, para ese año, los grupos

dominantes eran: Macroalgas ($\approx 29\%$), seguido del sustrato desnudo ($\approx 24\%$), y en tercer lugar el coral ($\approx 23\%$). Los grupos menos representados fueron las esponjas y la arena/substrato. La cobertura del arrecife de Akumal en 2010 estuvo dominada por Macroalgas ($\approx 30\%$), con cobertura modesta de corales duros ($\approx 8\%$). Aunque los grupos dominantes son similares en 1999 y 2010, los porcentajes son diferentes. Se puede notar que en 11 años la cobertura de macroalgas permanece prácticamente igual, así como la de sustrato desnudo, sin embargo, la cobertura de corales escleratinos es la que ha tenido una drástica reducción (Figura 12).

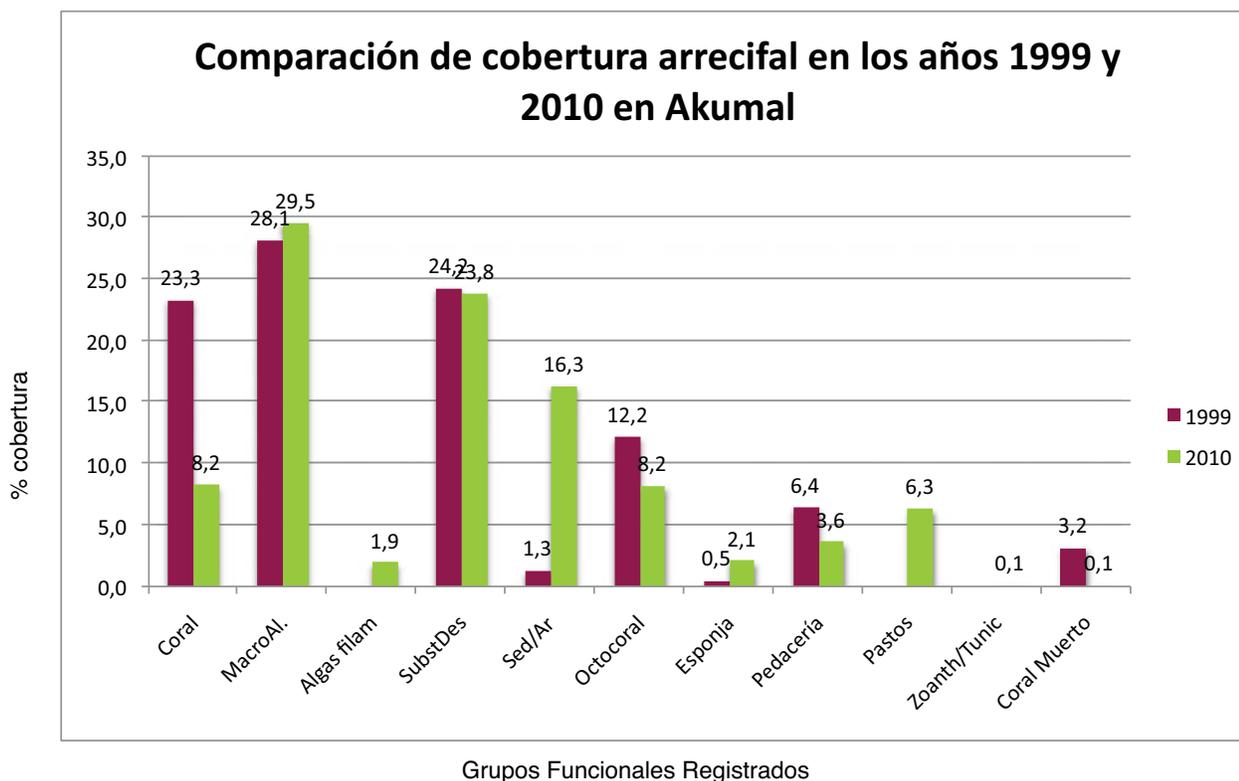


Figura 12 . Comparación de los grupos funcionales presentes en el año de 1999 y 2010 en el arrecife Akumal, Quintana Roo. Datos obtenidos de Garza-Pérez (1999) (MacroAl= Macroalgas, SubstDes= Substrato Desnudo, Sed/Ar= sedimento y/o arena, Zoanth/Tunic= Zoantídeos / Tunicados).

Del 8% de cobertura coralina registrado en el arrecife de Akumal en el 2010 se encontró que el 2.85% de la población analizada presentó alguna lesión. La enfermedad de banda amarilla tuvo la mayor incidencia en los corales, afectando el 44.2% de las colonias enfermas (Figura 7). La especie *Montastrea faveolata* fue la especie con mayor incidencia de lesiones de todo tipo. Estos resultados coinciden con los de Rosenberg & Kushmaro (2011) donde reportan

que la enfermedad con mayor distribución en el Caribe y que ha causado mayores pérdidas de tejido en tres especies de *Montastrea* fue la enfermedad de banda amarilla.

Las enfermedades coralinas en el Caribe y los eventos de blanqueamiento son una de las causas que más han afectado a la degradación arrecifal (Goreau et al. 1998, Dustan 1999, Porter et al. 2001, Patterson *et al.* 2002, Sutherland *et al.* 2004). Su incidencia ha sido tal, que las enfermedades de esta región representan el 66% de las enfermedades coralinas a nivel mundial cuando el Caribe contiene tan sólo el 8% de los arrecifes en el mundo (Spalding and Grenfell, 1997).

La prevalencia y los efectos en general de las enfermedades coralinas, han aumentado sustancialmente en los últimos 20 años debido a que las actividades humanas han alterado las condiciones ambientales disminuyendo la resistencia del huésped y acrecentando la virulencia del patógeno (Bruno *et al.* 2003). Diversos estudios han encontrado que muchos de los patógenos causantes de las enfermedades coralinas están directamente correlacionadas a los desechos fecales humanos provenientes de las aguas residuales (Lipp *et al.* 2002, Lipp & Griffin 2004, Kaczmarzsky *et al.* 2005, Vos & Richardson 2006, Sutherland *et al.* 2011) las cuales además de crear condiciones para la aparición de epizootias, propician el crecimiento de algas filamentosas y macroalgas pardas debido al enriquecimiento de nutrientes que generan (Thacker 2001, Szmant 2002, Mutchler, *et al.* 2007, Vermeji *et al.* 2010), siendo el Caribe la zona que más se ha visto afectada a nivel mundial por este cambio de fase coral-alga (Bruno et al., 2009). Aunado a estos efectos, se ha comprobado que otros resultados de la eutrofización son cambios en la estructura de la comunidad, prevalencia de enfermedades, mortalidad de corales, cambios en las condiciones hidrológicas naturales, entre otros (Thacker et al. 2001, Bruno et al. 2003, Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira 2006).

En cuanto a las comunidades de peces, los datos reportados por Garza-Pérez *et al.* (2011) corresponden a una comunidad depauperada, bajo el efecto de condiciones de sobrepesca. Las familias más abundantes (Acanthuridae, Scaridae y Haemulidae) tienen biomásas muy por debajo de las observadas en arrecifes sin sobrepesca.

En la Tabla 10 se muestran las comparaciones de los valores reportados por Garza Pérez *et al.* (2011) y otros autores en la región (Williams & Polunin 2001; Lang 2003; Garza-Pérez & Ginsburg 2008), para sitios en zonas arrecifales similares.

Tabla 10. Comparaciones de valores de biomasa reportados en el Caribe.

	Total	Total	Herbívoros			Herbívoros + económicamente importantes
Biomasa (gr./100m ²)	243	490	350	1070	1710	4500
	Akumal, México	Montecristi, Rep. Dominicana	Discovery Bay, Jamaica	Ambergis Caye, Bahamas	Barbados	Caribe en general
	Garza-Pérez et al. (2011)	Garza-Pérez & Ginsburg (2008)	Williams & Polunin (2001)			AGRRA (2004)

En la Tabla 10 se observa que la biomasa de Akumal constituye el valor mas bajo (244 gr./100m²) a pesar de estar reportando el valor total de todos los grupos de peces, en comparación con los demás sitios en donde solo se reportan datos de biomasa de herbívoros (Jamaica, Bahamas, Barbados) o del valor de biomasa promedio de especies económicamente importantes y herbívoros importantes en el Caribe (AGRRA 2004).

La comparación de familias de peces económicamente importantes, como los Lutjánidos y los Haemulidos, en un ambiente similar (arrecife frontal con poca influencia de manglar, reportada por Mumby *et al.* 2004), pone a los Haemulidos en un nivel similar (89 gr./100m² en Belize vs. 83 gr/100m² en Akumal) pero a diferencia, pone a los Lutjanidos de Akumal en serio declive (188 gr/100m² en Belize vs 22 gr/100m² en Akumal).

Tomando en cuenta que durante muchos años Jamaica fue tomado como ejemplo de un arrecife sobrepescado, al obtener en Akumal valores comparables al rango inferior de Jamaica (en donde solo se reportan herbívoros), e inferiores a los valores de biomasa total de la comunidad de peces del arrecife de Montecristi (también definido como sobrepescado por Garza-Pérez & Ginsburg, 2008), podemos definir a Akumal como un arrecife sobrepescado.

11.3 Calidad de Agua

Las principales fuentes de contaminación por nutrientes en los ecosistemas costeros son las actividades humanas que se desarrollan en el litoral y en el continente, así como el uso del suelo para obtener bienes y servicios -como alimentos y eliminación de desechos-. Las escorrentías de tierras agrícolas, actividades de engorda de animales, las áreas urbanas, el vertido de aguas residuales, y la precipitación atmosférica de compuestos liberados durante

la ignición de combustibles fósiles representan la mayor alteración humana de los ecosistemas terrestres que aportan nutrientes al medio marino (Aranda, 2004).

El análisis realizado en base a los datos de la calidad de agua de los monitoreos del CICY en los años 2008-2010 mostró que la cantidad de nitratos que ingresan, vía el agua del manto freático, tanto en la bahía de Akumal como en la laguna de Yalkú, aumenta en un 978% en temporada de lluvias, comparada con la temporada de secas. Además, en varios de estos puntos, la salinidad llega a disminuir hasta 17ppm.

Szmant (2002) hace una compilación de ocho estudios realizados por otros autores respecto a los nutrientes presentes en los arrecifes de coral, y expone en una tabla la cantidad de nitratos, nitritos, amonio y clorofila a que reportan cada uno de estos estudios. De los mismos, se presenta a continuación el realizado por Costa *et al.* (2000) ya que también reportaron datos de temporada de secas y lluvias; y se comparan con los datos de Akumal (Tabla 11). Las concentraciones están en μM .

Tabla 11. Comparación temporal de concentraciones de nutrientes en dos arrecifes del Caribe.

Autor	Características	Temporada	$\text{NO}_3 + \text{NO}_2$	NH_4	PO_4
Costa <i>et al.</i> (2000)	Arrecife en Brasil. Costa desarrollada.	Lluvias	8.03	4.81	1.42
		Secas	5.75	10.69	0.35
CICY (<i>conv. pers.</i>)	Arrecife de Akumal, Q. Roo, Mexico. Costa desarrollada.	Lluvias	133.38	22.17	0.28
		Secas	13.7	19.86	0.63

Cabe destacar que los datos reportados por Costa *et al.* 2000 son los que tienen las concentraciones más altas de la recopilación de Szmant. Esto denota que en Akumal el aporte de nutrientes presenta una diferencia importante, ya que la cantidad en μM es mucho mayor respecto a las concentraciones recopiladas por Szmant (2002), y también se infiere que al aumentar el flujo de agua dulce en temporada de lluvias, se acarrea una cantidad considerable de materia orgánica hacia el arrecife.

Este aumento en el flujo de agua dulce y por consecuencia en el aporte de materia orgánica de origen terrestre durante la temporada de lluvias, está relacionado a que la geología de la Península de Yucatán es un sistema de carbonatos cárstico, altamente vulnerable, en el que agua de lluvia se infiltra rápidamente a través del sustrato poroso, llega al manto freático por

conductos y fracturas que pueden tener conexión con el acuífero, y llegar a las zonas de recarga, penetrando de igual manera a cuevas y cenotes, recorriendo todo el sistema y desembocando finalmente en la zona costera (Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira 2006, Metcalfe *et al.* 2011). Se cree que parte de la contaminación en las aguas de este sector del Caribe provienen del centro de la Península de Yucatán -en donde se realizan actividades agropecuarias e industriales-, debido a la alta permeabilidad del suelo y su vínculo directo con el manto freático. Este supuesto junto con el procesamiento estándar de disposición de aguas residuales -la inyección de aguas sin tratar al subsuelo- en toda la zona, explicaría el aumento de nitratos en temporada de lluvias en la zona de Akumal. No obstante, la degradación de la calidad del agua puede ser más amplia que la debida a la nitrificación, ya que también puede incluir enriquecimiento de carbono orgánico, así como metales y contaminantes orgánicos provenientes de varias fuentes (Szmant, 2002).

Debido a la características geológicas de la zona, la descarga de las aguas subterráneas es difusa llevándose a cabo mediante filtraciones del manto freático, ojos de agua y escorrentías, lo que hace difícil determinar la contribución relativa de las fuentes de nutrientes para la calidad del agua costera. Sin embargo, se ha probado que la región está fuertemente influenciada por la descarga de aguas subterráneas sumergidas, representando el 99% del flujo de agua dulce a lo largo de costa del Caribe y afectando significativamente las condiciones ambientales y por tanto las funciones ecológicas de la zona debido a la contaminación con nutrientes disueltos de las actividades humanas que arrastra el agua. (Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira 2006, Mutchler *et al.* 2007).

Los cambios en la salinidad, así como el aumento de nitratos en un 978% en temporada de lluvias nos hace coincidir con Aranda (2004) en que es posible que concentraciones altas de nutrientes estén ingresando a la zona costera del Caribe por la descarga de aguas residuales, de lixiviados y por escorrentía en los suelos, tanto por los aportes *in situ* como por las descargas del manto freático en los manantiales y en forma difusa, por fractura de la roca, que se encuentran a lo largo de la costa, y probablemente también por precipitación atmosférica.

En la Tabla 12 se presenta una comparación de concentraciones de nutrientes a nivel regional realizada en base a datos reportados por Van Tussenbroek (2011) en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo; localizada a 70 km al norte de Akumal. Todas las concentraciones están expresadas en μM .

Tabla 12. Comparación regional de concentraciones de nutrientes en dos arrecifes del Caribe mexicano.

Autor	Características	Temporada	NO ₃ + NO ₂	NH ₄	PO ₄
CICY (conv. per. 2012)	Arrecife de Akumal, Q. Roo	Lluvias	133.38	22.17	0.28
		Secas	13.7	19.86	0.63
Van Tussenbroek (2011)	Arrecife Puerto Morelos, Q. Roo	Promedio	2.8 - 5.1	1.2 - 3.42	1.0 - 3.42

Se puede observar que hay una diferencia de aporte de nutrientes entre una zona y otra. Esto puede deberse a que el municipio de Benito Juárez, donde se sitúa Puerto Morelos, tiene la mayor capacidad instalada de plantas de tratamiento de aguas del estado, con el 50% de las plantas de tratamiento, equivalente al 72.56% del volumen estatal tratado (Gobierno de Quintana Roo, 2010) lo que implicaría que la inyección de aguas sin tratamiento al manto freático y su posterior descarga a la zona costera es muchísimo menor.

En este contexto, la acción inmediata a realizar dentro de un plan de manejo, deberá estar asociada al tratamiento de las aguas residuales previo a su disposición final, pues tal como Akumal, los arrecifes rodeados de fondos someros, en bahías con poca circulación de agua o en lagunas, y frecuentemente perturbados, son más propensos a experimentar cambios, incluso a niveles bajos de contaminación (Fabricius, 2005).

Al disminuir los niveles de contaminantes, se podrían disminuir directamente otros impactos asociados, tales como enfermedades coralinas, y la proliferación de algas, mejorando de esta manera la resiliencia del sistema. Dado que la hipótesis de que la contaminación en parte es generada en la porción central de la península no se ha comprobado, las aguas que sí se pueden manejar de mejor manera y que pueden representar un aporte importante de contaminantes, son las utilizadas por desarrollos poblacionales y turísticos de la zona costera. Es necesario minimizar los efectos causados por los mismos, ya que sólo el 32% de la población de Quintana Roo cuenta con sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales (Metcalf *et al.* 2011) en su mayoría primarios y secundarios poco eficientes (Roy 2004, Aranda 2004). Una vez mitigado el problema o al menos logrando una mejora en la calidad del agua, se podrían implementar estrategias adicionales para restaurar al arrecife, como impulsar una zona de exclusión pesquera, o crear un plan de saneamiento y restauración coralina.

Otra estrategia con visión a largo plazo sería la implementación de un corredor biológico a lo largo del Caribe mexicano compuesto por refugios pesqueros, lo que permitiría tener mejores resultados en toda la zona ya que fortalecería la conectividad del sistema; pues en base a Sale *et al.* (2010), la conectividad demográfica y evolutiva son de gran importancia para el mismo y vitales a considerar en la gestión costera. Sin el traslado de individuos entre poblaciones, en especial de larvas, se impediría la transferencia de genes pudiendo ocasionar la disminución poblacional y la irrupción de las trayectorias consideradas como vitales entre estos organismos y sus hábitats en alta mar. Pero, la implementación de un corredor, promovería la supervivencia y la reproducción de los peces, incluso aún si el área que rodea al mismo se encuentre severamente sobreexplotado (Sale *et al.*, 2010). A pesar de que existe el Sistema Arrecifal Mesoamericano, el mismo no ha sido suficiente para proteger la segunda barrera arrecifal más grande del mundo; pues en 29 años ha perdido el 50% de su cobertura, siendo el 19% de esta pérdida a causa de actividades antropogénicas (Ortega, 2009). Es por eso que la creación de una red de refugios pesqueros ayudaría a la conservación y protección del SAM, repoblando sitios intensamente sobrepescados, aumentando la resiliencia de los ecosistemas ante disturbios ambientales naturales, asegurando que las funciones de los ecosistemas marinos mantengan su integridad y estructura, mejorando la estabilidad de las capturas pesqueras en el largo plazo y dando preferencia en el derecho de uso de los recursos pesqueros a las comunidades locales que sean custodios y corresponsables de su cuidado (CEMDA & COBI, 2010).

Un ejemplo de este tipo de implementación es la Alianza Intermunicipal de la Costa de Yucatán, donde en base a diversos criterios (biodiversidad, pesca, turismo, población beneficiada por el uso del agua y del suelo, superficie de riego y número de áreas naturales protegidas que alberga), la Costa de Yucatán es considerada por la Comisión Nacional para el Uso y la Conservación de la Biodiversidad (CONABIO) como región prioritaria a nivel nacional, resaltando como prioridad el manejo de los residuos sólidos, tanto en las sesiones temáticas sobre salud pública como en las sesiones sobre medio ambiente. En este contexto, en el 2002 se creó el Corredor que cubre ahora alrededor de 115,000 hectáreas, y es considerado único en el mundo por el conjunto de su hábitat, especies y procesos ecológicos, y por la forma en que las comunidades costeras hacen uso de los recursos de las ciénagas (León *et al.* 2008)

Todas estas estrategias son deseables, pero hay que tener en cuenta que si se realiza cualquiera de ellas previo al tratamiento de aguas, los esfuerzos serán muy probablemente en vano.

11.4 Estrategias para cubrir las necesidades identificadas

McCook *et al.* (2009) argumentan que las tendencias del declive acelerado en los arrecifes de coral a nivel mundial demandan respuestas urgentes de manejo que logren: (a) reducir de manera inmediata las amenazas directas como el cambio climático, la sobrepesca y la contaminación del agua, y (b) acciones que protejan o mejoren la resiliencia de los ecosistemas arrecifales frente a las amenazas actuales y las inevitables amenazas futuras. Bajo este supuesto:

- (a) Dado que en esta zona la descarga de aguas residuales es una amenaza importante, para controlar la disposición de las mismas pueden utilizarse los humedales artificiales, la electrocoagulación, un sistema de terraplén, filtro de goteo, entre otras técnicas. Esta acción debe realizarse de manera urgente ya que a mediados de los años 90's se observó que la degradación del arrecife mesoamericano se relacionó con la contaminación por aguas residuales de las zonas urbanas y turísticas asociadas (Nelson 1998 en Hermosillo *et al.* 2011); mientras que en el 2004 Roy reporta que en Akumal la técnica de disposición de aguas residuales es la inyección de las mismas en el manto freático; y en el 2009 residentes del lugar reportan 30 descargas de drenaje clandestinas que contaminan el mar en la zona de Akumal y Yal Ku (López, 2009). Hay que tener en cuenta que al ser una localidad que forma parte del corredor Cancún-Tulum hay un creciente inmigración debido al campo laboral así como un creciente desarrollo turístico.
- (b) Una vez atendida esta problemática se pueden atender otras mediante acciones estratégicas que incrementen la resiliencia del arrecife.

Zonas de exclusión pesquera y conectividad

Para la cuestión de la sobrepesca, la acción a realizarse podría ser el establecimiento de zonas no extractivas ya que protegen la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros y benefician las poblaciones pesqueras explotadas (Murray *et al.* 1999), sin embargo para que haya éxito en las mismas se necesita proteger también la conectividad dentro y entre parches de hábitats del mismo tipo (p.e. la dispersión de peces y larvas entre arrecifes), así como la conectividad entre diferentes hábitats (p.e. entre manglares, pastos marinos y arrecifes) creando incluso zonas no extractivas fuera del área protegida (Bezaury-Creel 2005, McCook *et al.* 2009) y sobre todo, tener al personal suficiente para poder crear una red de vigilancia adecuada.

Un ejemplo es dado por Eisma-Osorio *et al.* (2009) quienes reportan que en las Visayas, Filipinas, seis gobiernos municipales locales formaron una unidad de manejo para guiar el desarrollo de una red institucional ecológica conformada de 40 zonas de no pesca dentro de áreas marinas protegidas pertenecientes a sus jurisdicciones. Mencionan que el éxito de esta red consistió en la inclusión de criterios sociales y ecológicos, e involucrando a todos los actores en el proceso.

McCook *et al.* (2009) proponen las “reglas de oro” para lograr esta conectividad. Los principios generales para la protección de la conectividad con información científica limitada son:

- *Adoptar un enfoque de todo el sistema que tenga en cuenta los patrones y los procesos de conectividad, dentro y entre los ecosistemas.*
- *Proteger una red de sitios en vez de sitios individuales. Las distancias entre las diferentes áreas de protección no deben de exceder los 10-20 km; de ser así deben crearse islas de protección o escalones que sirvan de trampolín entre las áreas.*
- *Incluir en esta red, sitios que tienen más probabilidades de servir como refugio de disturbios, proporcionando fuentes de propágulos que recolonizen otros sitios después de un evento.*
- *Garantizar que las estrategias de gestión, incluyendo el diseño de la red, tengan en cuenta los procesos de conectividad, tales como: corredores e islas o lugares clave de protección; sitios y tiempos de anidación o desove que tal vez requieran de protección total o cierre temporal de los sitios; calidad ambiental de los corredores; conectividad física (p.e. corrientes) y patrones de migración (inclusión de hábitats que se utilizan en diferentes etapas de vida de los organismos).*
- *Manejar áreas incluso fuera de la reserva para asegurar dejar intactos los procesos de los ecosistemas, la pesquería sustentable y la calidad medioambiental.*
- *Maximizar la adquisición de conocimiento existente para determinar la mejor configuración, reconociendo el valor potencial de la comunidad y el conocimiento tradicional (p.e. el conocimiento de pescadores locales sobre las agregaciones de desove).*
- *Considerar la posibilidad de realizar nuevas investigaciones dirigidas a la adquisición de elementos clave de información.*
- *Incluir arrecifes, corredores o puntos clave que sean potencialmente importantes, incluir márgenes de error ya que la ciencia no puede predecir con exactitud todos los hábitats o puntos del arrecife que serán críticos en un futuro para amenazas aún desconocidas.*
- *Dar cabida al manejo adaptativo.*
- *Estar preparado para responder a eventos que se presenten (p.e. responder a eventos masivos de blanqueamiento).*
- *Comunicar la importancia de la conectividad a los creadores de las políticas y los grupos interesados.*

Debido al estado de presión en muchas poblaciones de arrecifes tropicales, el éxito estará en el número, la ubicación estratégica y el tamaño de las reservas marinas que se establezcan (Baums *et al.* 2005).

Restauración y saneamiento coralino

A pesar de que la restauración de los arrecifes está en sus inicios (Edwards & Gómez, 2007), existen diferentes estrategias con las cuales se puede disminuir la degradación arrecifal. Sin embargo, para no hacer esfuerzos en vano se deben tomar en cuenta los siguientes factores que permitan saber si el área está preparada para realizar un proceso de restauración (Figura 13):

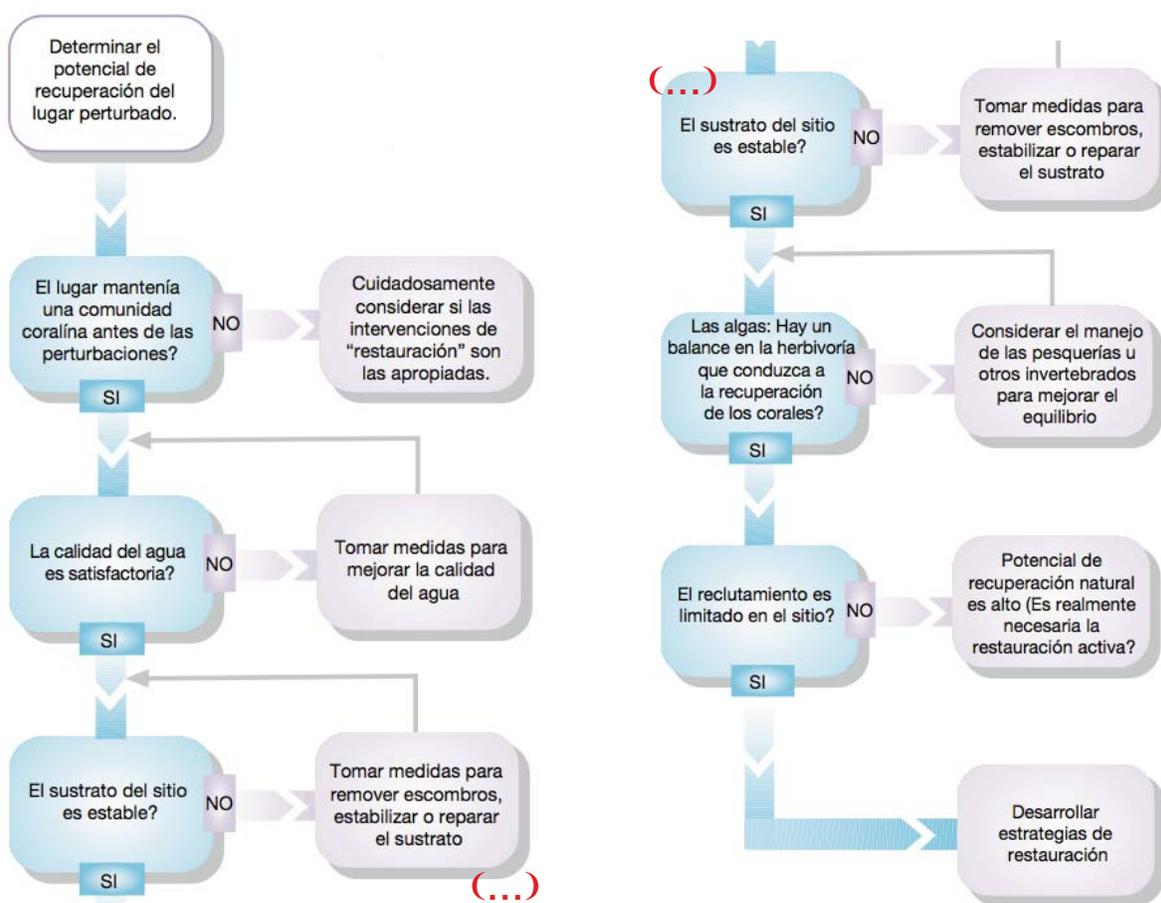


Figura 13. Diagrama de decisiones para asistir el proceso de determinar cuál es el potencial natural de recuperación de un sitio degradado y cuáles son las medidas de restauración más apropiadas. Tomado de Edwards & Gómez, 2007.

Una vez que se considere pertinente realizar una restauración del arrecife y el saneamiento coralino se pueden tomar en cuenta las diferentes técnicas de restauración que se aplican según el caso del arrecife y del evento de perturbación, como las propuestas por Raymundo *et al.* 2008 y Edwards & Gómez (2007) (Anexo 8).

Transferencia de conocimientos e inclusión de la comunidad

Hace falta crear un convenio con todos los científicos e instituciones que realicen estudios en el área para que la información generada se comparta y se cree una base de datos sólida que ayude en la toma de decisiones de la misma.

Se deben establecer mecanismos de transferencia de conocimientos y un programa continuo de revisión de las políticas de manejo para incorporar nueva información al programa según se requiera y esté disponible.

A pesar de que el programa lleva el nombre “comunitario” y que surgió de un comité de usuarios que mediante asambleas participativas creó el POBAk, se le debe dar continuidad a la inclusión de la comunidad. Se debería tener como objetivo crear una co-gobernabilidad entre el pueblo y los encargados del área, entendida ésta como una gobernanza ambiental, las decisiones (participativas) entre gobierno y sociedad civil que se toman en torno al uso, acceso, normatividad y beneficios generados por los recursos naturales y la biodiversidad para lograr así un verdadero empoderamiento local en la gestión de los recursos naturales y áreas silvestres protegidas (Solís 2002, Toledo 2006). Si el gobierno federal no llega a proporcionar protección a ésta área a través de SEMARNAT por las razones que fueren, se puede crear un Área Marina Protegida Comunitaria, como lo son las que ha creado la asociación civil Comunidad y Biodiversidad (COBI) quienes promueven la conservación de la biodiversidad marina y costera a partir de esquemas de participación comunitaria, y han realizado un marco que describe el proceso con los pasos y elementos claves para el logro de estas en conjunto con las comunidades costeras (Uribe *et al.* 2010) .

Existen diversas modalidades de participación social en la gestión de las áreas protegidas como las siguientes: Comités de Gestión, Convenios de Co-administración, Planes de Manejo y de Planes Operativos Anuales con participación de comunidades locales; también se promueve la participación a través de la incorporación de personal local en la gestión de parques y reservas. Toledo (2006) argumenta que:

“A través de estos mecanismos no solo se apoya el fortalecimiento de tejidos sociales alrededor de las áreas protegidas sino que se colabora con modificar la tradicional percepción negativa sobre parques y reservas en los pobladores locales. Estos espacios facilitan los consensos y ayudan a la discusión acerca del futuro de los recursos naturales y sobre temas sociales como pobreza, educación y desarrollo, lo cual aporta de forma positiva a la acción colectiva en favor de la democracia ambiental”.

Mientras se llega a esto se puede comenzar con la inclusión de la comunidad mediante mecanismos de divulgación, de tal suerte que se pueda mantener a la gente informada sobre lo que acontece en el área, las decisiones que se toman, los eventos por realizarse y el estado de los recursos naturales. Estos mecanismos de transferencia pueden ser mediante folletos mensuales, foros y mesas de diálogo con la comunidad o talleres.

12.- Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el análisis del estado de condición arrecifal, la calidad del agua en las bahías y la evaluación de contenido del POBAk y de las estrategias que proponen, se concluye que:

El Programa de Ordenamiento Comunitario de las Bahías de Akumal (POBAk) presenta una estructura acorde a los estándares de la SEMARNAT (2010) donde en base al estado de los componentes natural, social y económico (sectorial) del área de estudio, se identifican y priorizan los atributos ambientales, se diagnostican las condiciones en que se encuentra el área de ordenamiento y finalmente se pronostica la evolución de los conflictos ambientales en función de los comportamientos futuros de las variables naturales, sociales y económicas que puedan influir en el patrón de distribución de los usos del suelo, se crea una propuesta como la zonificación de Akumal la cual regula adecuadamente el uso de las actividades en las bahías. El área de Akumal cuenta con el permiso otorgado por la SEMARNAT de *aprovechamiento no extractivo para el avistamiento de tortugas marinas en tours de snorkel*. Sin embargo, el área que cubre el POBAk llega hasta los 60 m. de profundidad mar adentro, y es necesario incluir el enfoque en las zonas del frente y la pendiente arrecifal, en donde se desarrolla el arrecife de coral y que no cuenta con un nivel de protección legal. .

Debido a que es posible que el arrecife presente impactos asociados a escorrentías, es necesario que el programa no se enfoque sólo en el uso, densidad y flujo de visitantes y usuarios en las bahías, si no también que impulse programas que ayuden a evitar el vertimiento directo de aguas residuales en la zona ya que este tipo de presión puede afectar el área incluso más que las que el POBAk está regulando. Si no se controla la disposición de las mismas, todas las estrategias que se realicen en pro de conservar o aumentar la resiliencia y mejorar la condición del arrecife serán muy probablemente en vano.

La inclusión de la sociedad en sus diversos sectores en la divulgación de las actividades que se realizan en el área, los resultados de investigaciones que se llevan a cabo en la misma, así como el estado de los recursos naturales y la participación directa en la toma de decisiones, y manejo del área son puntos que se requieren tomar en cuenta para fortalecer los tejidos sociales que ayuden a impulsar la acción colectiva en favor de la protección ambiental.

Es por eso que en zonas arrecifales como Akumal, que no cuentan con estatus legal de protección ambiental, e inclusive en aquellas que cuenten con programas de ordenamiento, y en donde se aplican regulaciones estatales y federales de la zona costera, es necesaria la implementación de estrategias adicionales. Estas estrategias adicionales en conjunto con organizaciones no gubernamentales, la comunidad local y el gobierno, deberán ayudar a cubrir los vacíos legislativos y deberán estar enfocadas a minimizar los principales impactos que recibe la zona, permitiendo la adecuada conservación de los sistemas naturales.

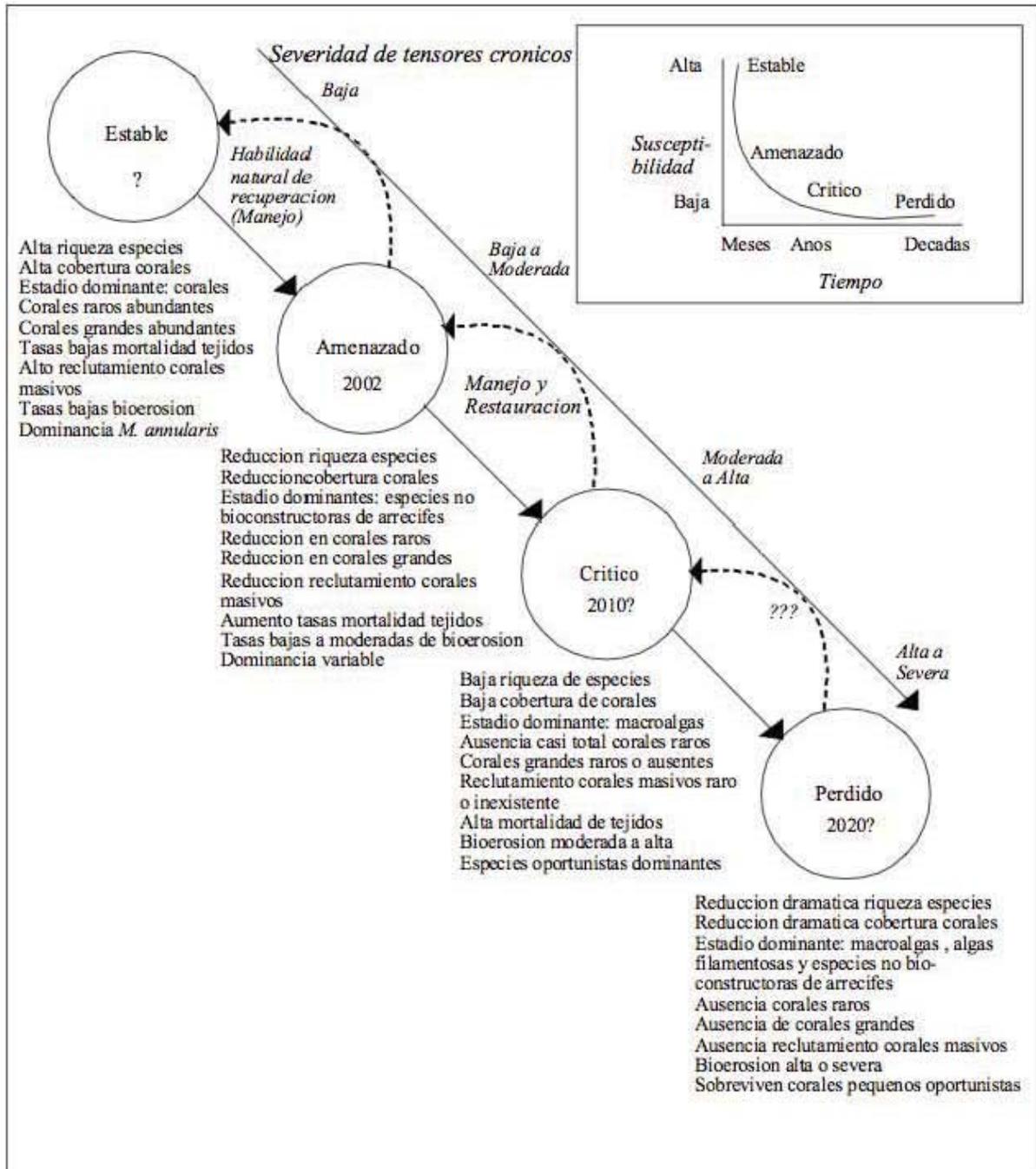
Por tanto, y de acuerdo a lo encontrado en esta investigación, se pone a consideración de los actores locales las siguientes recomendaciones:

13.- Recomendaciones

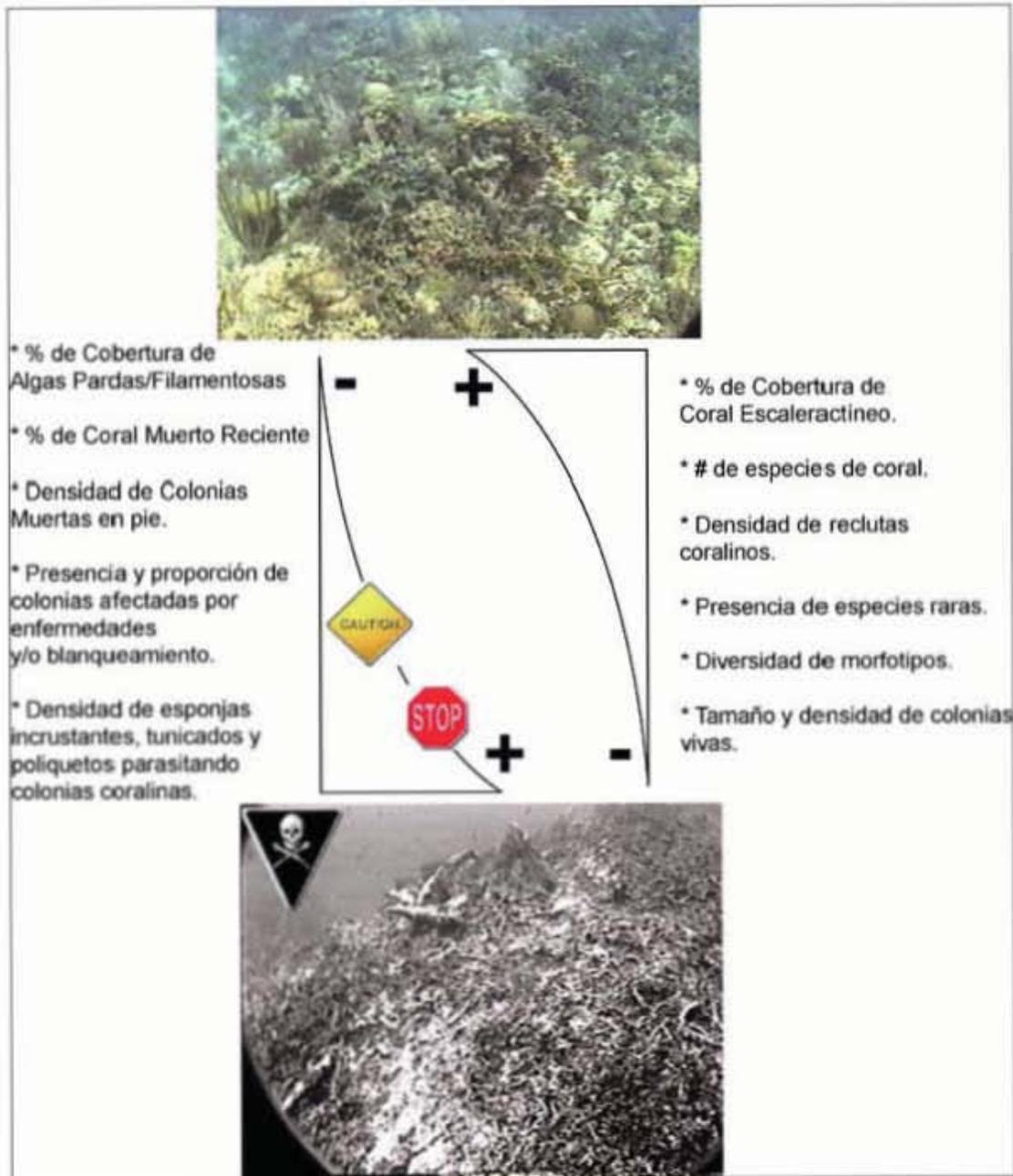
- ~ Establecer el fundamento legal que integre a los usuarios locales, y a la comunidad en general, en el manejo y protección del área así como en la toma de decisiones.
- ~ Aumentar el número de personal para monitorear y reforzar la aplicación del reglamento.
- ~ Crear un medio de divulgación tanto de las actividades y decisiones llevadas a cabo en el área, así como en el uso y restricciones en cada sección de la zonificación.
- ~ Establecer un plan de ordenamiento territorial en donde se establezca una zona de transición y se regule el tipo de uso de suelo permitido.
- ~ Crear un proceso de retroalimentación que se introduzca en el programa para que el mismo mejore según la información que se va generando.
- ~ Impulsar y procurar las opciones viables para lograr aumentar el nivel de tratamiento de aguas residuales tanto en poblaciones como en desarrollos turísticos.
- ~ Buscar las estrategias que le den mayor protección legal.

14.- Anexos

Anexo 1: Predicciones teóricas de los estadios alternativos estables de los arrecifes de coral, esquema tomado de Hernández-Delgado (2004).



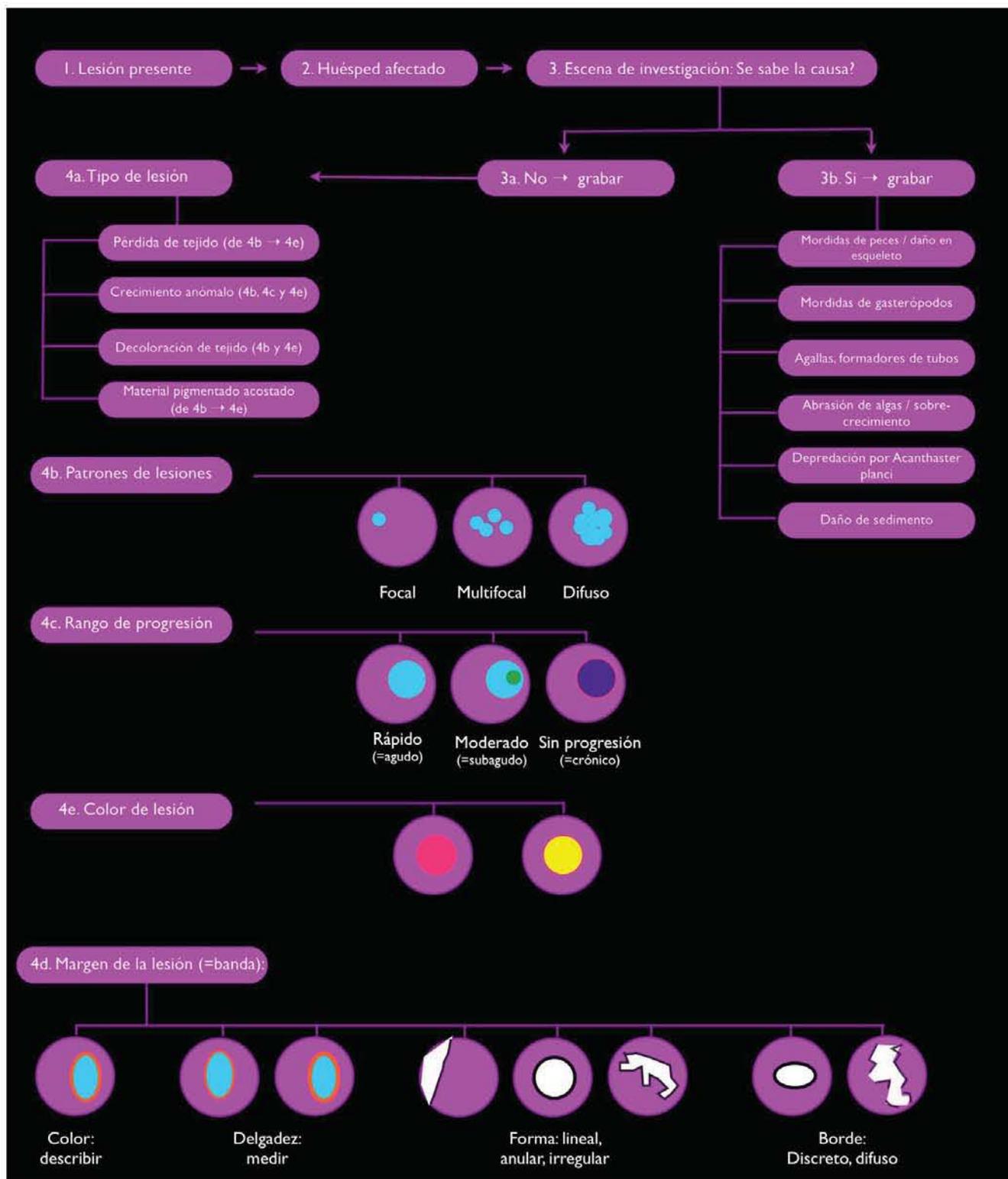
Anexo 2: Esquema sinóptico para la definición del estado de condición de una comunidad coralina arrecifal. En la parte superior se presenta un arrecife saludable y en la parte inferior un arrecife degradado. El gradiente de la izquierda representa los indicadores de degradación y el de la derecha los indicadores de salud. Tomado de Garza Pérez (2004).



Anexo 3: Esquema “La evaluación y el ciclo de manejo” tomado de WWF, 2003.



Anexo 4: Para la incidencia de lesiones por especie se utilizó el “Decision tree” creado del Coral Disease Handbook, (Modificado a partir de Raymundo, 2008).



Anexo 5: Para la identificación de enfermedades se utilizó la siguiente guía modificada de Raymundo (2008).

Pérdida de tejido: depredación conocida por peces e invertebrados resultando en salud comprometida



Depredación

- + Predominantemente coralívoros incluyendo peces loro, peces mariposa, lija, el pez globo, pez ballesta y las familias damisela.
- + Coralívoros pueden estar en el área pero no suelen verse comiendo coral.
- + La mayoría e los depredadores crea cicatrices distintivas cuando remueve el tejido y tira el esqueleto.



Géneros afectados

- *Montastraea*
- *Diploria*
- *Colpophyllia*
- *Porites*
- *Acropora*
- *Stephanocoenia*
- y otros (22 especies en total)

Pérdida de tejido: Enfermedades bióticas y abióticas



Enfermedades de bandas pigmentadas

Enfermedad de Banda Negra



- + Son bandas negras u oscuras entre rojo y café lineares, difusas o anulares de pérdida de tejido aguda a sub-aguda, con un margen de largo de 1 mm a 5 cm, siempre menos de 1 mm de ancho.
- + La banda está compuesta de organismos negri-rojos filamentosos, llenos de filamentos blancos que separan el tejido saludable y el blanco esqueleto.
- + La banda irradia hacia afuera del margen de la colonia o de un sitio de daño focal.
- + En infecciones moderadas (subagudas), el esqueleto desnudo es colonizado por algas filamentosas y otros epibiontes.



Géneros afectados

- *Montastraea*
- *Diploria*
- *Colpophyllia*
- *Siderastrea*
- *Pseudoplexaura*
- *Gorgonia*
- y otros (22 corales escleratíneos, un hidrozooario y cuatro octococales).

Enfermedad de Banda Roja



- + Tiene una banda de difusa a circular con organismos de filamentos caferojizos. Mide de 1mm a 5 cm de ancho.
- + La rápida a moderada (aguda a subaguda) pérdida de tejido intacta, revela al esqueleto desnudo cubierto de algas.
- + La banda es de linear a anular a irregular, irradiando desde el margen de la colonia hacia afuera, o siendo un sitio de heridas focales.



* Tomada de Raymundo 2008.

Géneros afectados

- 13 especies de octocorales (*Gorgonia*, *Plexaura*, etc.)
- Pocas especies de corales (*Meandrina*, *Acropora*...)

Infección de Ciliados del Caribe



- + Se observan a los corales infectados según 2 distintos patrones: una banda negra o gris, de varios mm a 2 cm de ancho, separa tejido saludable del esqueleto desnudo o se le encuentran parches difusos y dispersos.
- + Ambos parches y bandas tienen una apariencia “sal y pimienta” causada por la presencia de ciliados.
- + Los parches pueden estar asociados con las algas colonizantes en el el esqueleto desnudo.

Géneros afectados

- 22 especies de coral (*Montastraea*, *Diploria*, *Agaricia*, *Acropora*, *Dichocoenia*, etc).
- *Millepora*





Pérdida de tejido focal o multifocal sin banda de microbios distintivos



Géneros afectados

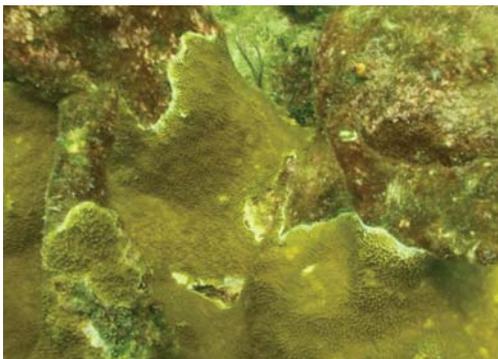
· Principalmente *Porites* spp.

Puntos Blancos Ulcerativos <<

- + Multifocal, bien circunscrito, decoloración blanca distintiva o pérdida aguda de tejido revelando esqueleto intacto.
- + Las lesiones son menores de 1 cm de diámetro con un margen discreto y pueden o contener tejido blanco o desprovistos de tejido.
- + Las lesiones pueden juntarse y ser colonizadas por algas, o ser curadas y desaparecer.

Enfermedad de Parches Blancos <<

- + Lesiones difusas focales o multifocales, 1-80cm de diámetro, con un fuerte borde principal circunscrito o pérdida de tejido.
- + Las lesiones pueden radiar hacia afuera sobre el tiempo y unirse, o (en las Acrópora) curar y regenerarse una vez que la mortalidad para.
- + Frecuentemente, el tejido remanente es visible y adyacente al borde principal.
- + Los coralitos pueden ser erosionados, pero con el esqueleto debajo intacto.
- + Formalmente llamado “white pox” y necrosis de parches en la *Acropora palmata*, pero signos similares han sido reportadas en otros corales masivos y de plato.



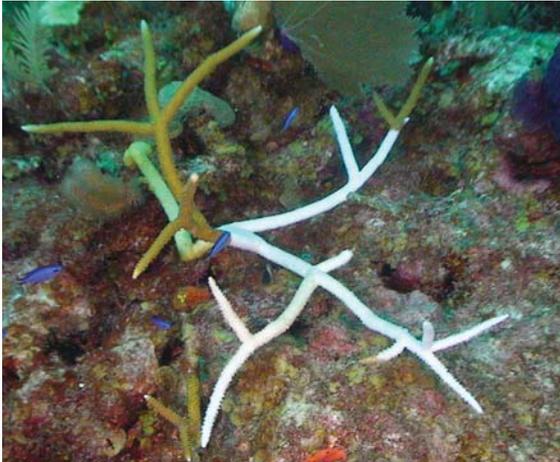
Géneros afectados

· Especie *Acropora palmata*



Pérdida de tejido anular o linear sin una banda pigmentada distintiva

Enfermedad de Banda Blanca <<



- + El frente de la enfermedad caracterizado por una banda linear discreta de pérdida de tejido de 2-10cm de ancho la cual puede circunscribir las ramas.
- + Las bandas separan tejido sano del esqueleto expuesto colonizado por epibiontes.
- + La enfermedad progresa rápido (mm-cm/día) desde la base de la colonia o la bifurcación de las ramas.

- + El tejido adyacente al esqueleto expuesto puede ser blanqueado, depredadores como los gusanos o gusanos de fuego pueden colonizar el frente de la enfermedad.

Géneros afectados
· Género <i>Acropora</i>

- + Las lesiones son focales o multifocales a coalescentes, con un margen linear o anular, dependiendo de la morfología de la colonia.
- + Una banda discreta de esqueleto desnudo separa el tejido vivo del esqueleto colonizado por algas.
- + Tejido adyacente al esqueleto expuesto puede ser propenso al blanqueamiento.
- + La pérdida del tejido linear comienza en la base o el margen de la colonia, o emana desde una interface de sedimento/algas dentro de la colonia, y avances de >10 cm/día.
- + Se parece un poco la enfermedad de banda blanca, pero afecta mas de 40 especies de corales de plato y no masivos.



Géneros afectados

- 42 especies de coral (*Montastraea*, *Colpophyllia*, *Diploria*, *Mycetophyllia*, *Dendrogyra*, *Stephanochoenia*, *Siderastrea*, etc).
- Especie *Millepora complanata*





Pérdida de tejido sin las bandas pigmentadas distintivas

Síndromes Blancos del Caribe <<

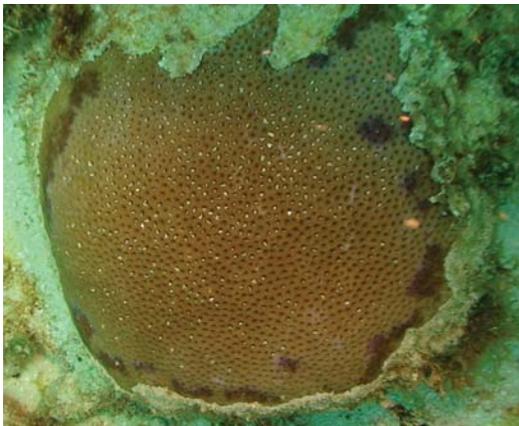
- + Patrones difusos de pérdida de tejido con bandas en la interface por ejemplo perdida de tejido que no es característica ni de la banda blanca o la plaga blanca.
- + En acrópodos, pueden incluir enfermedades que empiecen entre l colonia y no desde la base. Están dispersos en patrones irregulares.

Géneros afectados
<ul style="list-style-type: none"> · <i>Montastrea</i> · <i>Diploria</i> · <i>Acropora</i>



Decoloración

Enfermedad de Puntos Oscuros <<



Géneros afectados
<ul style="list-style-type: none"> · 16 especies de coral, pero afecta principalmente <i>Stephanocoenia</i>, <i>Montastraea</i>, <i>Siderastrea</i>, y <i>Colpophyllia</i>.

+ Lesiones focales a multifocales con márgenes anulares a irregulares, de morados a cafés y de 1cm a 45 cm de diámetro.

+ Tejido afectado puede ser asociado con una depresión de la superficie del coral que puede desaparecer por temporadas.

+ El esqueleto por debajo puede retener pigmentación oscura cuando ya no quede tejido.

+ Afecta principalmente a las *Stephanocoenia*, *Montastrea* y *Siderastrea*.

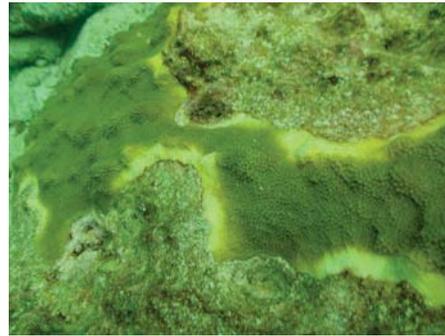
Enfermedad de Banda Amarilla <<



+Lesiones focales, multifocales y difusas con márgenes anulares a lineares de color amarillo pálido, bordeadas de un tejido saludable.

+Lesiones que progresan de mm a cm por mes.

+El borde de la banda permanece amarillo pálido coloreado de verde limón, mientras que el tejido previamente afectado se va obscureciendo gradualmente antes de la pérdida de tejido, la pérdida de tejido aguda es rara.



+ Afecta principalmente *Montastrea*.

Géneros afectados

· 11 especies de coral (*Montastrea*, *Colpophyllia*, *Diploria*).

Respuestas de pigmentación <<



+ Áreas difusas o multifocales de decoloración de tejido blanco, morado, amarillo, café o azul.

+ El tejido puede aparecer insano, hinchado y/o descarapelado de los bordes.

+ La pigmentación puede formar líneas, bolas, puntos, parches, bandas o formas irregulares.

+ Considerada una respuesta del coral huésped a una variedad de factores de estrés (por ejemplo patógenos no identificados, competencia, depredación, fauna abrasión, etc.), sugiriendo que el organismo sano está comprometido.

Géneros afectados

· Común en corales como *Porites*, *Siderastrea*, y *Montastrea*.
· En octocorales como *Gorgonia*, *Pseudoplexaura*, *Plexaura*, *Briarum* y *Erythropodium*.

+ Lesiones difusas de varios tamaños y formas distribuidas a través de la hoja del coral 'sea fan' y las redes de ramas, resultando en pérdida de tejido y/o esqueleto.



+ El tejido que rodea las lesiones se convierte usualmente en una respuesta de pigmentación morada oscura. Las colonias afectadas también pueden producir nódulos morados o irritaciones cerca de la lesión, las cuales pueden encapsular hongos, algas u otro tipo de epibiontes en un intento de confinar la infección.

+ Las lesiones producidas recientemente por depredación (lengua de flamenco, gusanos de fuego) usualmente no muestran coloraciones moradas pero en su lugar la matriz del esqueleto café oscuro, carente de tejido, esta claramente visible.

Géneros afectados
· Sólo afecta a octocorales, los más comunes son <i>Gorgonia</i> , <i>Pseudopterogorgia</i> , <i>Plexaura</i> y <i>Plexaurella</i> .



Puntos morados <<

- + Las infecciones aparecen como puntos morados de tamaño similar por toda la colonia. Las áreas moradas son producidas por la respuesta del huésped al patógeno.
- + Puntos morados pequeños dispersos por todo el abanico.



Géneros afectados

- *Gorgonia ventalina* y otros octocorales.



Géneros afectados

- Todos

Blanqueamiento <<

- + Focal, y de multifocal a coalescente, o áreas difusas de tejido de decoloración.
- + Pérdida o reducción en el número de algas endosimbióticas (zooxantelas) desde el tejido de coral.
- + El tejido esta presente, pero reducido o ausente de pigmentación.
- + El blanqueamiento puede afectar a la colonia entera, arriba de las superficies, la base o parches discretos.
- + El tejido blanqueado puede estar asociado con patrones irregulares de pérdida de tejido.

Crecimientos anómalos



Irritaciones

- + Deformaciones del esqueleto focales a multifocales con la presencia de organismos (jaiba, lapas, etc).
- + Deformaciones causadas por deposiciones del esqueleto al rededor del invertebrado residente que resulta en patrones no característicos. Las lesiones resultantes pueden ser focales o multifocales, masa en forma delgada - circular a irregulares, elevando a los pólipos de 2-4mm sobre la superficie de la colonia o abanico.
- + También reportada como un crecimiento en forma de tumor, un tumor, un tumor algal, irritaciones, perlas y nódulos en gorgonias.



*Tomada de Raymundo 2008.

Géneros afectados
· Varios



Crecimientos anómalos de causas desconocidas

- + Focal o multifocal, lesiones anulares a difusas que consisten de elementos de esqueletos arreglados anormalmente (coralitos, valles, abultamientos), las cuales son visiblemente más largas o pequeñas que aquellas de tejido sano adyacente.
- + Pueden salir protuberancias sobre la superficie de las colonias y pueden estar cubiertas o no de tejido intacto.
- + La pigmentación puede ser normal, clara (sugiriendo la pérdida de zooxantelas), o completamente ausente (sugiriendo la ausencia de zooxantelas).
- + En algunos tipos, los coralitos pueden estar completamente ausentes, y el crecimiento anómalo trae consigo una placa sobre la superficie de la colonia. En otros tipos, los coralitos pueden ser altamente desorganizados y el tejido puede morir en parches irregulares; el esqueleto descubierto puede ser colonizado por epibiontes.



- + También incluye condiciones referidas al gigantismo, crecimiento acelerado, tumores y desarrollo caótico de pólipos.

Géneros afectados

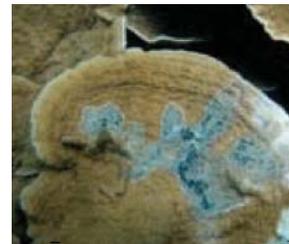
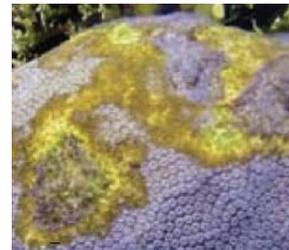
- Varias especies de coral (*Montastraea*, *Colpophyllia*, *Diploria*, *Acropora*)
- Y varias especies de octocoral (*Gorgonia*, *Pseudoplexaura*, *Plexaura*, *Plexaurella*).



Salud comprometida en corales duros

- + Tejido enfermo a la vista con claros signos de mortalidad reciente.
- + Formas de puntos, bandas, anillos y áreas irregulares de diferentes formas y tamaños.
- + El tejido que se ve insano está generalmente en el borde o al rededor de anillos de tejido muerto, o de áreas recolonizadas por algas. Algunas especies muestran respuestas de pigmentación.
- + Tejido desprendiéndose de la estructura del esqueleto, y a veces se puede encontrar una banda oscura de bacterias (parecido a la necrosis).

Géneros afectados
· 16 especies de coral (<i>Montastraea</i> , <i>Siderastrea</i> , <i>Agaricia</i> , <i>Diploria</i> , <i>Dendrogyra</i> , <i>Mycetophyllia</i>).



Anexo 6: Correspondencias de Grandes Grupos Funcionales y Morfo-Tipos a Géneros y especies de corales, octocorales, hidrocorales, esponjas, Zoantídeos y tunicados; correspondencias de Tipos de Algas a Géneros y especies; y Tipos de Substrato con sus descripciones. Tabla modificada de Gárza-Pérez (2004 y 2011).

Grupo Funcional: Coral Escleractinio (Coral Duro)	
Ramoso/ Ramificado	Género <i>Acropora</i> , <i>A. palmata</i> , <i>A. cervicornis</i> , <i>A. prolifera</i> .
Digitiforme	<i>Madracis decactis</i> , <i>M. fromosa</i> , <i>M. auretenra</i> , <i>Porites porites</i> formas: <i>porites</i> , <i>divaricata</i> y <i>furcata</i> , <i>Cladocora arbuscula</i> , <i>Oculina robusta</i> , <i>O. tenella</i> , <i>O. diffusa</i> .
Masivo/Domo	Género <i>Montastraea</i> , <i>M. annularis</i> , <i>M. cavernosa</i> , <i>M. franksi</i> , <i>M. faveolata</i> , <i>Solenastrea bournoni</i> , <i>S. hyades</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Stephanocoenia intersepta</i> , <i>Madracis senaria</i> , <i>Porites astreoides</i>
Incrustante	<i>Dichocoenia stokesii</i> , <i>Favia fragum</i> , <i>P. colonensis</i> , <i>Siderastrea radians</i> , <i>Undaria agaricites</i> formas: unifacial y bifacial , <i>U. humilis</i> , <i>Agaricia fragilis</i> forma: <i>contracta</i> , <i>Madracis pharensis</i> ,
Cerebro	Género <i>Diploria</i> , <i>D. strigosa</i> , <i>D. clivosa</i> , <i>D. labyrinthiformis</i> , <i>Colpophyllia nathans</i> , <i>Isophyllia sinuosa</i> , <i>Isophyllastrea rigida</i> , <i>Meandrina meandrites</i> , <i>M. jacksoni</i> , <i>Manicina areolata</i> .
Folioso	<i>Undaria tenuifolia</i> , <i>A. agaricites</i> forma <i>bifacial</i> , <i>A. fragilis</i> , <i>A. lamarcki</i> , <i>A. grahamae</i> , <i>A. undata</i> , <i>Helioseris cucullata</i> .
Carnoso/ Rugoso	Género <i>Mycetophyllia</i> , <i>M. aliciae</i> , <i>M. ferox</i> , <i>M. lamarckiana</i> , <i>M. reesi</i> .
Disco / Plato	Género <i>Scolymia</i>
Copa/Flor	<i>Eusmilia fastigiata</i> , <i>Mussa angulosa</i> .
Pilar	<i>Dendrogyra cylindrus</i>

Grupo Funcional: Octocorales (Corales Blandos)	
Digitiforme	<i>Briareum asbestinum</i>
Ramoso/Arbustivo	Género <i>Pseudoplexaura</i> , Género <i>Plexaurella</i> , <i>Plexaura homomalla</i> , <i>Plexaura flexuosa</i> , <i>Eunicea succinea</i> , <i>E. calyculata</i> , <i>E. fusca</i> , <i>Eunicea mammosa</i> , <i>Iciligorgia schrammi</i> , Género <i>Muricea</i> , <i>M. muricata</i> , <i>M. pinnata</i> , <i>M. elongata</i> , <i>M. laxa</i> , <i>Pterogorgia citrina</i> , <i>Pterogorgia guadalupensis</i> , <i>P. anceps</i>
Pluma	Género <i>Pseudeptergorgia</i> , <i>P. americana</i> , <i>P. bipinnata</i> , <i>Muriceopsis flavida</i>
Abanico	<i>Gorgonia flabellum</i> , <i>G. ventalina</i>
Incrustante	<i>Erythropodium caribeorum</i> , <i>Briareum asbestinum</i> (forma incrustante)

Grupo Funcional: Esponjas	
Incrustantes	<i>Cliona langae</i> , <i>Anthosigmella varians</i> , <i>Calix podatypa</i> , <i>Neofibularia nolitangere</i> , <i>Ectyoplasia ferox</i> .
Columna	<i>Aplysina culiformis</i> , <i>A. fulva</i>
Tubo	<i>Aplysina fistularis</i> , <i>A. lacunosa</i> , <i>Pseudocerata crassa</i> , <i>Agelas conifera</i> , <i>Callyspongia vaginalis</i> , <i>C. plicifera</i>
Vaso	<i>Niphates digitalis</i> , <i>Cribochalina vasculum</i> , <i>Verongula gigantean</i> , <i>Xetospongia muta</i>
Semiesférica	<i>Speciospongia vespaium</i> , <i>Ircinia strobilina</i> , <i>I. felix</i>

Grupo Funcional: Algas	
Macroalgas Pardas	Géneros <i>Dyctiota</i> , <i>Padina</i> , <i>Turbinaria</i> , <i>Sargassum</i> , <i>Lobophora variegata</i> , <i>Styopodium zonale</i> .
Macroalgas Verdes	Géneros <i>Penicillus</i> , <i>Caulerpa</i> , <i>Valonia</i> , <i>Udotea</i> , <i>Acetabularia</i> .
Calcáreas Articuladas	Género <i>Halimeda</i>
Filamentosas	Parches o tapetes conspicuos de algas del Phylum <i>Cyanophyta</i> , Géneros <i>Gelidiella</i> , <i>Ceramium</i> , <i>Polysiphonia</i> , <i>Wrangelia</i> (Rodofitas) Géneros <i>Feldmannia</i> , <i>Sphacelaria</i> (Feofitas)
Calcáreas Rojas	Géneros <i>Amphiroa</i> , <i>Galaxaura</i> , <i>Jania</i> , <i>Neogoniolithon</i> .
Macroalgas Rojas	Géneros <i>Asparagopsis</i> , <i>Chondria</i> , <i>Dasya</i> , <i>Eucheuma</i> , <i>Gracilaria</i> , <i>Halymenia</i> ,
Coralinas / Incrustantes	Phylum <i>Rhodophyta</i> , Géneros <i>Galaxaura</i> , <i>Jania</i> , <i>Amphiroa</i> , <i>Porolithon</i>

Grupo Funcional: Pastos Marinos	
Pastos Marinos	<i>Thalassia testudinum</i> , <i>Syringodium filiforme</i> , Género <i>Halophila</i> , <i>Halodule wrightii</i> .

Grupo Funcional: Zoántidos y Tunicados	
Zoántidos	<i>Playthoa caribeourm</i> , <i>P. grandis</i> , <i>Zoanthus pulchellus</i> , <i>Epizoanthus cutressi</i> , Género <i>Parazoanthus</i>
Tunicados	<i>Didemnum vanderhorsti</i> , <i>Trididemnum solidum</i> , Géneros <i>Clavelina</i> , <i>Eudistoma</i> , <i>Botrylloides</i> , <i>Distalpia</i> , entre otros.

Sustratos Inertes	
Arena	Arena gruesa en grandes camas o acumulada en grietas o hendiduras.

Sustratos Inertes	
Sedimento	Sedimento calcáreo fino (arcillas y lodos) en grandes camas o acumulado en grietas o hendiduras. En zonas de alta sedimentación puede llegar a cubrir sustratos rocosos.
Pedacería/Cascajo	Pedazos sin tejido coralino vivo de colonias rotas, generalmente de corales ramosos y digitiformes (<i>Acropora</i> y <i>Porites</i>), puede estar recubierto ligeramente por películas de microalgas o parcialmente cubierto por algas coralinas incrustantes. Cuando esta pedacería es muy antigua puede estar en alguna fase de cementación con el sustrato y puede estar recubierta significativamente por macroalgas, algas filamentosas o algas coralinas incrustantes. Solo en estos casos se registrará la cobertura como tal, en vez de considerarlo como pedacería/cascajo.
Pavimento Calcáreo / Roca	Substrato desnudo o relativamente desnudo de carbonato de calcio y/o colonias coralinas muertas erectas, puede presentar una ligera película de microalgas y/o sedimento.
Coral Muerto Reciente	Tejido coralino muerto con antigüedad no mayor a un año, en donde aún se pueden apreciar los detalles del esqueleto coralino. Puede presentar una ligera película de microalgas o sedimento. Producido por lesiones (mordidas de peces, enfermedades coralinas, daños mecánicos por abrasión - aletazos, cadenas, anclas-).

Anexo 7: Encuesta realizada al personal del CEA tomada del Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica del Programa Ambiental para Centroamérica presentado por el Programa Sistema Arrecifal Mesoamericano (2004).

Indicadores socioeconómicos:

CONTEXTO ¿Dónde están ahora?	Calif. (ejem.)
IC1. Empleos dependientes de los recursos marinos	
El aprovechamiento sostenible de los recursos marinos en al APM produce el 100% de los empleos en las comunidades presentes dentro de los límites del área	5
El aprovechamiento sostenible de los recursos marinos en al APM produce el 75% de los empleos en las comunidades presentes dentro de los límites del área	4
El aprovechamiento sostenible de los recursos marinos en al APM produce el 50% de los empleos en las comunidades presentes dentro de los límites del área	3
El aprovechamiento sostenible de los recursos marinos en al APM produce el 25% de los empleos en las comunidades presentes dentro de los límites del área	2
Las actividades de aprovechamiento sostenible de los recursos marinos no son realizadas por pobladores de las comunidades presentes dentro de los límites del área	X
IC2. Prácticas e intensidad de Uso local de recursos marinos	
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos esta establecido a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo y monitoreadas por la administración del APM	...
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos esta establecido a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo pero no son monitoreadas por la administración del APM	
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos empleadas no estan establecidas a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo pero son propuestas por la administración del APM	
Se esta en proceso de establecer normas y estrategias para el uso de los recursos marinos en el APM	
El uso de los recursos marinos no cuenta con ningún Plan ni norma de manejo	
IC3. Estado de infraestructura de servicios	
La infraestructura de servicios es la recomendada para el Manejo de los recursos y la administración del APM y se encuentra en buen estado	
La infraestructura de servicios es la recomendada para el Manejo de los recursos y la administración del APM y se encuentra en mal estado	
Existe un plan de mejoramiento de la infraestructura de servicios en ejecución	
Existe un plan de mejoramiento de la infraestructura de servicios pero no hay ninguna acción para implementarlo	
No existe ningún plan de desarrollo o mejoramiento de la infraestructura de servicio en el APM	
IC4. Identificación de grupos de interés	
La administración del APM tiene identificados y mantiene relaciones de trabajo con el 100% de los grupos de interés	
La administración del APM tiene identificados a todos los grupos de interés pero mantiene relaciones de trabajo solamente con el 75% de los grupos de interés	
La administración del APM tiene identificados a todos los grupos de interés pero mantiene relaciones de trabajo solamente con el 50% de los grupos de interés	
La administración del APM tiene identificados a todos los grupos de interés pero mantiene relaciones de trabajo solamente con el 25% de los grupos de interés	
La administración del APM no tiene identificados a todos los grupos de interés pero mantiene relaciones de trabajo con algunos de ellos	
PROCESOS ¿Cómo se puede hacer?	
IP1. Distribución del conocimiento formal a la comunidad	
La comunidad tiene información completa generada por la comunidad científica sobre los impactos provocados a los ecosistemas del APM por el uso de recursos	
La comunidad tiene información extensa generada por la comunidad científica sobre los impactos provocados a los ecosistemas del APM por el uso de recursos	
La comunidad tiene información moderada generada por la comunidad científica sobre los impactos provocados a los ecosistemas del APM por el uso de recursos	
La comunidad tiene información Limitada generada por la comunidad científica sobre los impactos provocados a los ecosistemas del APM por el uso de recursos	
La comunidad no tiene Ninguna información generada por la comunidad científica sobre los impactos provocados a los ecosistemas del APM por el uso de recursos	
IP2. Participación de los grupos de interés	
Los grupos de interés participan completamente en todos los aspectos de planificación, manejo y toma de decisiones del área protegida	
Los grupos de interés participan en la planificación y manejo del área protegida pero no en la toma de decisiones	
Los grupos de interés participan en algunas actividades de planificación del área protegida.	
Los grupos de interés han manifestado su disponibilidad de participar y los administradores del área protegida realizan consultas con los grupos de interés	
Los grupos de interés no participan en la planificación y manejo del área protegida. Las decisiones son centralizadas.	

Continuación indicadores socioeconómicos

IMPACTOS ¿Qué se ha logrado?
Prácticas e intensidad de uso local de recursos marinos
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos esta establecido a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo y monitoreadas por la administración del APM
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos esta establecido a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo pero no son monitoreadas por la administración del APM
Las prácticas e intensidad de uso de los recursos marinos empleadas no estan establecidas a partir de estrategias de manejo aprobadas en el Plan de Manejo pero son propuestas por la administración del APM
Se esta en proceso de establecer normas y estrategias para el uso de los recursos marinos en el APM
El uso de los recursos marinos no cuenta con ningún Plan ni norma de manejo
Empleos por actividades relacionadas con los recursos marinos
Los procesos de manejo del APM están conduciendo a generación de nuevos empleos, estabilidad en los mismos y diversificación
Los procesos de manejo del APM están conduciendo a generación de nuevos empleos pero sin estabilidad y diversificación
Los procesos de manejo solo están manteniendo los empleos actuales pero con estabilidad
Hay estrategias de generación y diversificación de empleos en proceso de acuerdo al plan de manejo del APM
Los procesos de manejo no están produciendo nuevos empleos
Actores locales que liderean la gestión del AMP
Los actores locales liderean el proceso de gestión del AMP diseñando sus agendas, tomando las decisiones y ejecutandolas
Los actores locales comparten la responsabilidad de tomar decisiones y su ejecución en el proceso de gestión del AMP
Los actores locales participan en el proceso de discusión sobre la gestión del manejo y definen al final quién tomara la decisión final
Los actores locales solamente son consultados para que la administración del AMP tome las decisiones
Los actores locales son informados de las decisiones tomada por parte de la administración del AMP
Participación de los grupos de interés
Los grupos de interés participan completamente en todos los aspectos de planificación, manejo y toma de decisiones del área protegida
Los grupos de interés participan en la planificación y manejo del área protegida pero no en la toma de decisiones
Los grupos de interés participan en algunas actividades de planificación del área protegida
Los grupos de interés han manifestado su disponibilidad de participar y los administradores del área protegida realizan consultas con los grupos de interés
Los grupos de interés no participan en la planificación y manejo del área protegida. Las decisiones son centralizadas

Indicadores de gobernabilidad:

CONTEXTO ¿Dónde están ahora?	Calif. (ejem.)
IC1. Estatus Legal	5
Declaración oficial al más alto nivel del área protegida, plenamente reconocida.	4
Declaración oficial del área protegida no del más alto nivel.	X
La propuesta de declaración del área protegida en proceso	2
Existen propuestas para declarar el área protegida, pero no se ha iniciado el proceso.	1
No existe declaración oficial ni propuesta alguna que respalde el área silvestre.	
IC2. Demarcación de límites	
Límites del área protegida legalmente definidos y totalmente demarcados en el campo.	
Límites del área protegida no definidos legalmente, pero totalmente demarcados en el campo.	
Límites del área protegida definidos legalmente, y parcialmente demarcados en el campo.	
Límites del área protegida legalmente definidos pero sin demarcación en el campo.	
Límites del área protegida no definidos legalmente y sin demarcar en el campo.	
IC3. Instrumentos legales y administrativos que establecen las regulaciones del AMP	
Instrumentos legales y administrativos existen y son aplicados efectivamente	
Instrumentos legales y administrativos existen pero son aplicados parcialmente	
Instrumentos legales y administrativos existen pero hay serios problemas para aplicarlos	
Instrumentos legales y administrativos no existen pero hay esfuerzos para establecerlos	
No existen instrumentos legales y administrativos específicos que regulen las actividades en la AMP	
IC4. Identificación de Amenazas	
Análisis de amenazas preparado. Amenazas identificadas, priorizadas y tratadas por medio de acciones de manejo.	
Amenazas identificadas y priorizadas; existen acciones de manejo para tratar algunas amenazas.	
Amenazas identificadas y priorizadas; no hay acciones de manejo para tratar las amenazas.	
Análisis de amenazas iniciado.	
No existe un análisis de amenazas.	

Continuación indicadores de gobernabilidad:

PLANIFICACIÓN ¿ Donde se quiere estar y cómo se consigue?

IPL1. Cumplimiento de objetivos del área

El AMP es gestionada de acuerdo a los objetivo del área y estos se cumplen completamente
 El AMP tiene objetivos claros, tiene mecanismos de evaluación de su cumplimiento y se están cumpliendo parcialmente
 El AMP tiene objetivos claros y tiene mecanismos de evaluación de su cumplimiento
 El AMP tiene objetivos claros pero no tiene mecanismos de evaluación de su cumplimiento
 No existen objetivos claramente definidos para el AMP

IPL2. Personal para el manejo del área

Existe el 100% del personal necesario para la administración básica del área
 Existe el 75% del personal necesario para la administración básica del área
 Existe el 50% del personal necesario para la administración básica del área
 Existe el 25% del personal necesario para la administración básica del área
 Nos e cuenta con personal para la administración básica del área

IPL3. Plan de Manejo

Plan de manejo aprobado e implementándose al día
 Plan de manejo aprobado e implementándose en algunos de sus programas
 Plan de manejo terminado y aprobado sin implementar
 Plan de manejo en elaboración
 No existe plan de manejo

IPL4. Plan Operativo

Plan operativo implementándose de acuerdo al plan de manejo
 Plan operativo implmentandose de acuerdo a algunas actividades del plan de manejo
 Plan operativo implementándose sin fundamento en el plan de manejo
 Plan operativo en elaboración
 No existe plan operativo

IPL5. Programa de Educación ambiental

Ejecuta el plan de educación ambiental y se evalúa su impacto permanentemente
 Se ejecutan algunas acciones del plan de educación ambiental
 Existe un plan de educación ambiental, pero no se implementa por falta de recursos
 Se está diseñando un plan de educación ambiental
 No existe un plan de educación ambiental

IPL6. Programa de Comunicación

Existe un plan de divulgación en ejecución, evaluado y orientado a tener impacto significativo en la población meta
 Se ejecuta el plan y se evalúa su impacto en la población meta
 Existe disponibilidad técnica, equipo y materiales suficientes para ejecutar el programa de divulgación y éste se ejecuta
 Existe la identificación de necesidades de divulgación o acciones aisladas
 No existe un plan de divulgación, ni acciones aisladas, ni disponibilidad de tenerlo

IPL7. Plan de Financiamiento de largo plazo

Hay un plan de financiamiento a largo plazo, hay mecanismos de financiamiento funcionando, los ingresos son suficientes para el manejo.
 No hay un plan de financiamiento a largo plazo, hay mecanismos de financiamiento funcionando, los ingresos son suficientes pero a corto plazo.
 No hay plan de financiamiento a largo plazo, hay mecanismos de financiamiento funcionando, los ingresos son insuficientes.
 No hay plan de financiamiento a largo plazo, hay algunas acciones de financiamiento, los ingresos son insuficientes.
 No hay plan de financiamiento a largo plazo, no hay mecanismos de financiamiento funcionando.

IPL8. Programa de Monitoreo y Evaluación

Plan de monitoreo y evaluación aprobado e implementándose al día
 Plan de monitoreo y evaluación aprobado e implementándose parcialmente
 Plan de monitoreo y evaluación terminado y aprobado sin implementar
 Plan de monitoreo y evaluación en elaboración
 No existe Plan de monitoreo y evaluación

IPL9. Programa de Control y vigilancia

Existe un programa de control y vigilancia y se aplica totalmente
 Existe un programa de control y vigilancia y se aplica en su mayoría
 Existe un programa de control y vigilancia y se aplica parcialmente
 Existe un programa de control y vigilancia pero no hay acciones sistemáticas
 No existe un un programa de control y vigilancia y no hay acciones ordenadas

IPL10. Programa de Investigación

Existe programa de investigación estructurado y adecuado a necesidades de manejo.
 Existe programa de investigación estructurado y poco adecuado a necesidades de manejo pero solo algunas acciones implementadas.
 No hay programa de investigación, se da investigación adecuada a necesidades de manejo.
 No hay programa, hay investigación aislada poco relevante para el manejo.
 No hay programa, no hay investigación.

Continuación indicadores de gobernabilidad:

INSUMOS ¿Qué se necesita?
II1. Presupuesto
El área protegida dispone de un presupuesto que cubre el 100% de la costos de inversión y operación que necesita
El área protegida dispone de un presupuesto que cubre el 75% de la costos de inversión y operación que necesita
El área protegida dispone de un presupuesto que cubre el 50% de la costos de inversión y operación que necesita
El área protegida dispone de un presupuesto que cubre el 25% de la costos de inversión y operación que necesita
El área protegida no dispone de presupuesto propio
II2. Infraestructura
100% de la infraestructura para el manejo básico del área ha sido construida
75% de la infraestructura para el manejo básico del área ha sido construida
50% de la infraestructura para el manejo básico del área ha sido construida
25% de la infraestructura para el manejo básico del área ha sido construida
No existe infraestructura para el manejo básico del área
II.3 Equipo
100% del equipo idóneo para el manejo eficiente del área protegida ha sido adquirido.
75% del equipo para las actividades prioritarias de manejo ha sido adquirido
50% del equipo idóneo ha sido adquirido
25% del equipo idóneo ha sido adquirido
No existe equipo
II4. Señalización y/o Rotulación
Existe 100% señalización y/o rotulación para el área protegida.
Existe 75% señalización y/o rotulación para el área protegida
Existe 50% señalización y/o rotulación para el área protegida
Existe 25% señalización y/o rotulación requerida para el área protegida
No existe señalización y/o rotulación en el área protegida
II5. Personal necesario
Existe el 100% del personal necesario para la administración básica del área
Existe el 75% del personal necesario para la administración básica del área
Existe el 50% del personal necesario para la administración básica del área
Existe el 25% del personal necesario para la administración básica del área
No se cuenta con personal para la administración básica del área
II6. Personal capacitado
El 100% del personal está capacitado para ejecutar sus funciones
El 75% del personal está capacitado para ejecutar sus funciones
El 50% del personal está capacitado para ejecutar sus funciones
El 25% del personal está capacitado para ejecutar sus funciones
El personal no ha recibido capacitación específica para cumplir con sus funciones
II7. Programa de voluntariado
Existe un programa de voluntariado implementado que responde a las necesidades de manejo del AP
Existe un programa de voluntariado, pero no hay seguimiento ni evaluación
Se está elaborando un programa de voluntariado y se identifican mecanismos para su ejecución
Hay servicio de voluntariado esporádico
Hay necesidad de voluntariado pero no hay iniciativas para la creación de un programa

Continuación indicadores de gobernabilidad:

PROCESOS ¿Cómo se puede hacer?
IP1. Mantenimiento de infraestructura y equipo
Existe mantenimiento de toda la infraestructura y equipo del área protegida
Existe mantenimiento en 75% de la infraestructura y equipo del área protegida
Existe mantenimiento en 50% de la infraestructura y equipo del área protegida
Existe mantenimiento en 25% de la infraestructura y equipo del área protegida
No existe mantenimiento de la infraestructura y equipo del área protegida
IP2. Mecanismos para registro de ilícitos
Existen mecanismos para registro de ilícitos apropiados y todo el personal y colaboradores tiene pleno conocimiento
Existen mecanismos para registro de ilícitos apropiados; son muchos ejecutores que los conocen y existen programas para su mejoramiento
Existen mecanismos para registro de ilícitos; pero no son 100% adecuados ni son de completo conocimiento del personal y actores ejecutores Sin embargo, existen programas en funcionamiento para mejorarlo
Mecanismos de registro de ilícitos insuficientes, son de poco conocimiento para el personal y actores; y no existen programas para superarlo
No existen mecanismos para registro de ilícitos
RESULTADOS ¿Cuáles fueron los resultados?
IR1. Nivel de satisfacción del personal
100% del personal está satisfecho con sus condiciones de trabajo en el área protegida
175% del personal está satisfecho con sus condiciones de trabajo en el área protegida
50% del personal está satisfecho con sus condiciones de trabajo en el área protegida
25% del personal está satisfecho con sus condiciones de trabajo en el área protegida
Menos del 25% del personal está satisfecho con sus condiciones de trabajo en el AP
IR2. Implementación Plan de Manejo
100% de los programas y subprogramas del plan de manejo están implementándose
75% de los programas y subprogramas del plan de manejo están implementándose
50% de los programas y subprogramas del plan de manejo están implementándose
25% de los programas y subprogramas del plan de manejo están implementándose
Ningún programa o subprograma del plan de manejo ha sido implementado
IR3. Mecanismo de captación de ingresos
Hay mecanismos de captación de ingresos os ingresos son suficientes para el manejo del área
Hay mecanismos de captación de ingresos pero los ingresos son suficientes en el corto plazo
Hay mecanismos de captación de ingresos pero los ingresos son insuficientes
No hay mecanismos de captación de ingresos pero existen acciones aisladas y los ingresos son insuficientes
No existen mecanismos de captación de ingresos
IMPACTOS ¿Qué se logró?
Nivel de participación social
Hay participación social plena en todos los aspectos de planificación, gestión y toma de decisiones del área protegida.
Existe participación social en la planificación y gestión del área protegida (pero no en la toma de decisiones)
Hay participación social en algunas actividades concretas del área protegida
La participación social es parcial solo cuando ocasionalmente el administrador del área protegida lo requiere
No existe participación social en la gestión del área protegida

Anexo 8: Propuestas de restauración arrecifal según el agente de perturbación encontradas en la literatura:

Raymundo *et al.* 2008:

- ✦ *Tener un plan de saneamiento coralino para las enfermedades presentes. Hay por ejemplo la opción de dejar al organismo en cuarentena ya que en primer lugar, cuando se trata de una enfermedad aparentemente desconocida hay un riesgo real para los humanos por lo que se evita un impacto en la salud humana. Y en segundo lugar, no sólo los buzos pueden romper y desgastar los corales sino que también pueden ser la vía de transmisión de patógenos entre arrecifes a través de equipo contaminado. Cerrar un arrecife puede aislar una infección y limitar sus daños.*
- ✦ *Hay acciones de manejo para casos más específicos. Por ejemplo, se ha logrado controlar la dispersión de la enfermedad de banda oscura (EBO) durante periodos anormales de calentamiento aspirando de la banda mediante jeringuillas o bombas y recubriendo después con arcilla o masilla subacuática directamente sobre la banda.*
- ✦ *La enfermedad de banda oscura (EBO) puede ser eliminada también y la tasa de aparición reducida mediante la re-introducción de los erizos *Diadema antillarum* a los hábitats donde solían ser abundantes.*

Edwards & Gómez (2007):

- ✦ *Donde los impactos agudos han agrietado, volcado, desplazado y fragmentado colonias de coral y otros organismos sésiles, o depositado objetos externos en el arrecife, una técnica de ayuda en el corto plazo y de gran ayuda para la recuperación puede involucrar la utilización de cemento o de una solución adherente sobre las grandes grietas de la estructura arrecifal para corregir y fijar los corales, las esponjas y otros organismos arrecifales, o por lo menos almacenar los organismos que se han desprendido en un ambiente seguro hasta que puedan ser fijados nuevamente.*
- ✦ *Dentro del ámbito de la restauración física está el uso de arrecifes artificiales, que puede ser desde bloques de piedra caliza hasta módulos de concreto (por ejemplo, ReefBalls™) o de cerámica (por ejemplo, EcoReefs™), o minerales (brusita o aragonita) depositados electrolíticamente sobre estructuras de malla de alambre (por ejemplo, BioRock™). El uso de estas estructuras en los proyectos de restauración debe ser considerado cuidadosa y críticamente.*
- ✦ *La intervención activa de restauración más frecuente es el trasplante de corales (y otros componentes de la biota) a un sitio degradado. Es muy importante reducir cualquier daño a los arrecifes “donantes” que están saludables (o menos degradados) que es de donde los trasplantes son obtenidos, y maximizar la supervivencia de los trasplantes. El trasplante puede ser de un cultivo o de un medio natural.*

15.- Bibliografía

- Alcolado, M., S. González & B. Martínez. (1998). "Protocolo para el monitoreo de bentos de los Arrecifes Coralinos. Acciones prioritarias para consolidar la protección en el Ecosistema Sabana-Camagüey". Instituto de Oceanología. 25 pp.
- Alcolado P.M., I.E. Morgan, P.A. Kramer, R.N. Ginsburg, P. Blanchon, E. de la Guardia, V. Kosminin, S. González-Ferrer & M. Hernández (2010). "Condición de arrecifes remotos en el suroeste de Cuba". *Cienc. mar.* vol. 36 no.2.
- Alvarez-Fillip L., N.K. Dulvy, J. A. Gill, I.M. Côté & A.R. Watkinson (2009). "Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity" *Proc. R. Soc. B* 276, 3019-3025 pp.
- Álvarez-Góngora C. & J. A. Herrera-Silvira (2006). "Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone". *Marine Pollution Bulletin* 52: 48–60 pp.
- Andrade, G. I. (2003). "National Parks versus Protected Landscapes? Legitimacy, Values, and the Management of the Colombian Tropical Wildlands". In: A. Putney & D. Harmon (eds.). *The Full Value of Parks. From Economics to the Intangible*. Chap. 13. Rowman & Littlefield Publishers Inc. USA
- Andrade G. & J. P. Ruiz (2006). "Area de Conservación Comunitaria en la Selva Corazon de la Salud de Mataven-Colombia" en *Conservación y Equidad Social*. IUCN, Revista Simposium N° 11.
- Andréfouët S., P. Kramer, D. Torres-Pulliza, K.E. Joyce, E.J. Hochberg, R. Garza-Pérez, P.J. Mumby, B. Riegl, H. Yamano, W.H. White, M. Zubia, J.C. Brock, S.R. Phinn, A. Naseer, B.G. Hatcher & F.E. Muller-Karger (2003). "Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments". *Remote Sensing Environment*. ELSEVIER. Vol. 88 (1-2): 128-143pp.
- Aranda-Cicerol N. (2001). "Alimentando al mundo, envenenando al planeta: eutrofización y calidad de agua. Avance y Perspectiva". *México*, 20: 293-303 pp.
- Aranda J. (2009). "Presenta Riviera Maya crecimiento récord en arribo de turistas en 2008", Director del Fideicomiso de Promoción Turística entrevistado en Noticaribe el 10 de Febrero del 2009. http://www.noticaribe.com.mx/rivieramaya/2009/02/presenta_riviera_maya_crecimiento_record_en_arribo_de_turistas_en_2008.html . Link revisado el 21 de Febrero del 2011.
- Aronson R.B., P.J. Edmunds, W.F. Pretch, D.W. Swanson & D.R. Levitan (1994). "Large-scale, long-term monitoring of caribbean coral reefs: simple, quick, inexpensive techniques". *Atoll Res. Bull.* 421, 19pp.
- Aronson R.B., D.W. Swanson (1997). "Video surveys of coral reefs: uni- and multivariate applications". *Proc 8th Intl Coral Reef Symp*, Panama 2:1441-1446
- Aronson R.B., W.F. Precht (2001). White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiologia* 460: 25–38.
- Baker D.M., E. Jordán-Dahlgren, M.A. Maldonado & C. D. Harvell (2010). "Sea fan corals provide a stable isotope baseline for assessing sewage pollution in the Mexican Caribbean". *Limnol. Oceanogr.* 55(5), 2139-2149.
- Ban N. C., V.M. Adams, G.R. Almany, S. Ban, J.E. Cinner, L.J. McCook, M. Mills, R. L. Pressey & A. White (2011). "Designing, implementing and managing marine protected areas: Emerging trends and opportunities for coral reef nations". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 408: 21–31 pp.

- Barrera G. & P. Nahimira (2004). "Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México". *Hidrobiológica*. Vol. 14 pp. 27-35.
- Baums I.B., M.W. Miller & M.E. Hellberg (2005). "Regionally isolated populations of an imperiled Caribbean coral, *Acropora palmata*". *Mol Ecol* 14:1377–1390
- Beeden R., B.L. Willis, L.J. Raymundo, C.A. Page, & E. Weil (2008). "Underwater cards for assessing coral health on Indo-pacific reefs". <http://www.gefcoral.org>.
- Bezaury-Creel J. E. (2005). "Protected areas and coastal and ocean management in México". *Ocean & Coastal Management* 48: 1016–1046 pp.
- Birkeland C. (1987). "Nutrient availability as a major determination of differences among coastal hard-substratum communities in different regions of the tropics", p. 1-26. en Birkeland (ed.), *Comparison between Atlantic and Pacific Tropical Coastal Systems*, United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization Reports in Marine Science 46. UNESCO Division of Marine Science, Paris, France revisado en Szmant A.M. (2002). "Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?". *Estuaries*. Vol. 25, No 4b, p. 743-766.
- Bone D., A. Cróquer, E. Klein, D. Pérez, F. Losada, A. Martín, C. Bastidas, M. Rada, L. Galindo & P. Penchaszadeh (2001). "Programa caricomp: Monitoreo a largo plazo de los ecosistemas marinos del parque nacional morrocoy, Venezuela". *INCI*, vol.26, no.10, p.457-462. ISSN 0378-1844.
- Brainard R.E., C. Birkeland, C. M. Eakin, P. McElhany, M. W. Miller, M. Patterson & Gregory A. Piniak (2011). "Status Review Report of 82 Candidate Coral Species Petitioned Under the U.S. Endangeres Species Act. NOAA. 581pp. Revisado en http://www.nmfs.noaa.gov/stories/2012/04/4_13_12corals_petition.html
- Bruno J. F., L. E. Petes, C. D. Harvell & A. Hettinger (2003). "Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases". *Ecology Letters* 6: 1056-1061 pp.
- Bruno J. F., H. Sweatman, W. F. Precht, E. R. Seig & V. G. W. Schutte (2009). "Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs". *Ecology*, 90 (6): 1478 - 1484 pp.
- Cabrera A., J. Pacheco, J. Frías, J. Ramírez & M. Ramírez (2002). "Mapeo de aguas subterráneas contaminadas por nitratos y bacterias en el estado de Yucatán, México" en Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; AIDIS. Memorias. México, D.F, FEMISCA, pp.1-8.
- Caribbean Coastal Marine Productivity Programme—CARICOMP, (1997). "A research and monitoring network of marine laboratories, parks and reserves. In: Proceedings of the 8th ICRS, Panama", vol. 1, pp. 641–646. en Downs C., C. M. Woodley, R. H. Richmond, L. L. Lanning & R. Owen (2005). "Shifting the paradigm of coral-reef 'health' assessment". *Marine Pollution Bulletin*. N° 51. 486-494 pp.
- Carleton J.H. & T.J. Done (1995). Quantitative video sampling of coral reef benthos: large- scale application. *Coral Reefs* 14:35-46
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (CEMDA) & Comunidad y Biodiversidad (COBI) (2010). "Implementación de reservas marinas en México". 73pp.
- Cesar, H., L. Burke, and L. Pet-Soede (2003). *The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation*. Arnhem, The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting.
- Cervino, J., T.J. Goreau, I. Nagelkerken, G.W. Smith, R. Hayes (2001). "Yellow Band and Dark Spot Syndromes in Caribbean Corals: Distribution, Rate of Spread, Cytology, and Effects on Abundance and Division Rate of Zooxanthellae". *Hydrobiologia* 460pp. 53-63pp.

- Chiappone, M. & K.M. Sullivan (1991). "A comparison of line transect versus linear percentage sampling for evaluating stony coral (*Scleratinia* and *Milleporina*) community similarity and area coverage on reefs of the central Bahamas". Coral Reefs 10:139-154 en Aronson R.B., Edmunds P.J., Pritchard W.F., Swanson D.W. & D.R. Levitan (1994). "Large-scale, long-term monitoring of Caribbean coral reefs: simple, quick, inexpensive techniques". Atoll Res. Bull. 421, 19pp.
- COP 16 "El medio ambiente en Quintana Roo" revisado en http://www.cc2010.mx/es/acerca_de_cop16/sustentabilidad-de-la-cop16cmp6/el-medio-ambiente-en-quintana-roo/index.html el 23 de Marzo del 2012.
- Costa O. S., Z.M. Leao, M. Nimmo & M.J. Attrill (2000). "Nutrification impacts on coral reefs from northern Bahia, Brazil". Hydrobiologia (440):370-315 pp en Szmant A.M. (2002). "Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?". Estuaries. Vol. 25, No 4b, p. 743-766.
- Díaz-Ruiz, S. 2002. Informe final del sistema arrecifal coralino de Akumal, Caribe Mexicano. Segunda etapa (LIEC/CBS/UAM-I, 2001, 2002). Reporte Técnico. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 178 p en Barrera Guadalupe & Nahimira Patricia (2004). "Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México". Hidrobiológica. Vol. 14 pp. 27-35.
- Done T.J. (1988). "Simulation of recovery of pre-disturbance size structure in populations of *Porites* spp. damaged by the crown of thorns starfish *Acanthaster planci*". Marine Biology. Vol. 100, Number 1, 51-61pp.
- Done T.J. (1999). "Coral Community Adaptability to Environmental Change at the Scales of Regions, Reefs and Reef Zones". American Zoology, 39: 66-79 pp.
- Done T.J. & S. Diop (1999). "Information management and decision support for marine biodiversity protection and human welfare: Coral Reefs, Background paper for Workshop AIMS" en Garza-Pérez J.R. (2004). *Información y Manejo para la Protección de la Biodiversidad de la Barrera Arrecifal de México: Evaluación de Variables, Modelación Espacial del Hábitat y SIG*. Tesis que presenta para obtener el grado de Doctor en Ciencias en la especialidad de Ciencias Marinas. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida Departamento de Recursos del Mar. 184pp.
- Downs C., C. M. Woodley, R. H. Richmond, L. L. Lanning & R. Owen (2005). "Shifting the paradigm of coral-reef 'health' assessment". Marine Pollution Bulletin. N° 51. 486-494 pp.
- Dustan P. (1999). "Coral reefs under stress: sources of mortality in the Florida Keys". Nat Res Forum 23:147-155.
- Edwards A.J., Gomez E.D. (2007). "Reef Restoration Concepts & Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program" St. Lucia, Australia. iv + 38pp.
- Eisma-Osorio, R, R. Amolo, A. Maypa, A. White & P. Christie (2009). "Scaling up local government initiatives toward ecosystem-based fisheries management in South-east Cebu Island, Philippines". Coastal Management 37 (3): 291-307 pp.
- English, S., C. Wilkinson, & V. Baker. (1997). "Survey Manual for Tropical Marine Resources", 2nd Ed., Australian Institute of Marine Science, Townsville. 390 pp.
- Escobar J. (2002). "La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar". Naciones Unidas 69pp.
- Escofet A. & I. Espejel (2004). "Geographic indicators of coastal orientation and large marine ecosystems: alternative basis for management-oriented cross-national comparisons. *Coastal Management* 32:117.128.

- Espejel I. & R. Bermúdez (2009). "Propuesta metodológica para la regionalización de los mares mexicanos, en Córdova y Vázquez, A. et.al, Ordenamiento Ecológico Marino: Visión integrada de la regionalización", (145-185), México, D.F: INE
- Fabricius K. E. (2005). "Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis". *Marine Pollution Bulletin* 50: 125–146 pp.
- Fermán J.L., C. Arredondo, A. García & J. Seingier (2006). "La regionalización marino-costera, base para el ordenamiento" en Córdova y Vázquez A., F. Rosete, G. Enríquez & B. Hernández (coordinadores) *Ordenamiento ecológico marino. Visión temática de la regionalización*. INE-SEMARNAT, 57-66 pp. 226pp.
- Foley J. E., S.H. Sokolow, E. Girvetz, C.W. Foley & P. Foley (2005). "Spatial epidemiology of Caribbean yellow band syndrome in *Montastrea* spp. coral in the eastern Yucatan, Mexico". *Hydrobiología* 548: 33-40pp.
- García-Salgado M., T. Camarena L., G. Gold B., M. Vasquez, G. Galland, G. Nava M., G. Alarcón D. & V. Ceja M. (2006). "Línea Base del Estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano" en Proyecto para la conservación y uso sostenible del SAM. Documento Técnico del SAM No. 18. 167pp.
- Gardner T.A., I.M. Cotê, J. A. Gill, A. Grant & A. R. Watkinson (2003). "Long-Term Region-Wide Declines in Caribbean Corals". *Science* (301): 958-960 pp.
- Garza-Pérez J.R. (1999). "Análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas arrecifales del Caribe Mexicano". Tesis que presenta para obtener el grado de Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Marina. Departamento de Recursos del Mar. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). Unidad Mérida. 60 pp.
- Garza-Pérez J.R. (2004). "Información y Manejo para la Protección de la Biodiversidad de la Barrera Arrecifal de México: Evaluación de Variables, Modelación Espacial del Hábitat y SIG". Tesis que presenta para obtener el grado de Doctor en Ciencias en la especialidad de Ciencias Marinas. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida Departamento de Recursos del Mar. 184pp.
- Garza Pérez J.R., A. Lehmann & J.E. Arias González (2004). Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 269: 141–152. Coral Reef Ecosystems Ecology Laboratory, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida, Carr. Ant. Progreso km 6 Cordemex, Mérida, Yucatán 97210, México
- Garza-Pérez J.R. & R.N. Ginsburg (2008). "Replenishing a near-collapsed reef fishery, Montecristi National Park, Dominican Republic". *Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute Meeting*, Punta Cana Dominican Republic. 465-474 pp.
- Gárza-Pérez J.R., M. Mata-Lara, S. García-Guzman & A. Schirp (2011). "Estado de condición del arrecife de Akumal, Quintana Roo". Reporte técnico DEGAPA-PAPIME, UNAM-PE100910 44pp.
- Ginsburg, R.N., & P.D. Glynn (1994). "Summary of the colloquium and forum on global aspects of coral reefs: health, hazards and history". en R.N. Ginsburg (compiler). *Global Aspects of Coral Reefs –Health, Hazards, and History*. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami. 1-7pp.
- Gladfelter E.H. (1983). "Skeletal development in *Acropora cervicornis*: II. Diel patterns of calcium carbonate accretion". *Coral Reefs* 2:91–100pp. en Dubinsky Z. & N. Stambler (2011) *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. 552pp.
- Goldberg J. & C. Wilkinson (2004). "Global Threats to Coral Reefs: Coral bleaching, global climate change, disease, predator plagues and plagues, and invasive species" 67-92 pp. en Wilkinson C. *Status of Coral Reefs of the World: 2004*. (I):302 pp.

- Goreau T. J, J. Cervino, M. Goreau, R. Hayes, M. Hayes, L. Richardson, G. Smith, K. DeMeyer, I. Nagelkerken, J. Garzon- Ferrera, D. Gil, G. Garrison, E. H. Williams, L. Bunkley- Williams, C. Quirolo, K. Patterson, J. Porter, & K. Porter (1998) "Rapid Spread of Caribbean Coral Reef Diseases", *Rev. Biol. Trop.*, Vol. 46 Sup. (5):157-171 pp.
- Gutierrez Carbonell D., C. García Saez, M. Lara Pérez-Soto, C. Padilla Souza, J. Pizaña Alonso & R. Macías Ordoñez. (1993) "Caracterización de los arrecifes coralinos de la reserva de la biósfera Sian Ka'an, Q. Roo.". *Sian Ka'an Ser. Docts.* 47pp.
- Gutiérrez Carbonell D., M. Lara Pérez Soto, C. Padilla Souza, J. Pizaña Alonso, G. García Beltrán, R. M. Loreto Viruel & T. Camarena Luhrs (1995). "Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor 'Cancún-Tulum', Quintana Roo, México". *Sian ka'an serie documentos no. 4*, 3-39 pp.
- Hermosillo M., M.S. Linaje, C. Valencia, L. Hernández & N. Balagurusamy (2011). "Humedales Artificiales: Sistema Sustentable para el Tratamiento de Aguas Residuales -Una perspectiva para México". Presentación disponible en portal.sre.gob.mx/cilanorte/pdf/Hermosillo.pdf
- Hernández-Delgado (2004). "Análisis del estado de los recursos y de la situación ambiental actual de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, PR". Informe sometido a la autoridad de Conservación Y desarrollo de Culebra, Puerto Rico. 2 de agosto de 2004. 133 pp.
- Hochberg E.J. & M.J. Atkinson (2000) "Spectral discrimination of coral reef benthic communities". *Earth and Environmental Science. Coral Reefs.* Springer Berlin. Vol. 19, N° 2, 164-171 pp.
- Hochberg E., M.J. Atkinson & S. Andréfouët (2003). "Spectral reflectance of coralreef bottom-types worldwide and implications for coral reef remote sensing". *Remote Sensing of Environment.* ELSEVIER. Vol 85 (2): 159-173pp.
- Hoegh-Guldberg O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, D.C. Harvell, P. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Dubi & M. Hatzitolos (2007). "Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification". *Science* 318: 1737–1742 pp.
- Hughes T. P. (1989). "Community structure and diversity of coral reefs: the role of history" in *Ecology*. Vol. 70, No. 1, pp. 275-279
- Kaczmarzky L. T., M. Draus & E. H. Williams (2005). "Is there a relationship between proximity to sewage effluent and the prevalence of coral disease?". *Caribbean Journal of Science*, Vol 41. (1): 124-137 pp
- Kelty R. (2004) "Status of Coral Reefs in the U.S. Caribbean and Gulf of Mexico: Florida, Flower Garden banks, Puerto Rico, U.s. Virgin Islands, Navassa" in Wilkinson C. *Status of Coral Reefs of the World*. Australian Institute of Marine Science. Vol. 2, p. 431- 450. 558pps.
- Kramer P., P. Richards, E. Arias-González & M. McField (2000). "Status of coral reefs of northern central america: Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua & El Salvador" en *Status of coral reefs in the world*. Cap. 16. 287-313 pp.
- Kramer Philip A. (2003). "Synthesis of coral reef health indicators for the western Atlantic: results of the AGRRRA program (1997-2000)" Pp.1-55 en J.C. Lang (ed.), *Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRRA) Program*. Atoll Research Bulletin 496.
- Koop K., D. Booth, A. Broadbent, J. Brodie, D. Bucher, D. Capone, J. Coll, W. Denninson, M. Erdmann, P. Harrison, O. Hoegh-Guldberg, P. Hutchings, G.B. Jones, A. W. D. Larson & D. Yellowlees (2001). "ENCORE: The effect of nutrient enrichment on coral reefs. Synthesis of results and conclusions". *Marine Pollution Bulletin* (42): 91-120 pp.

- Jackson J.B.C. (2008). "Ecological extinction and evolution in the brave new ocean". Proc. Natl. Acad. Sci. USA 10 (Suppl. 1): 11458–11465.
- Jordán-Dalghren E. (1993). "El ecosistema arrecifal coralino del atlántico mexicano" Rev.Soc.Mex. Hist.Nat. (XLIV): 157-175 pp.
- Lang J., P. Alcolado, J.P. Carricant-Ganivet, M. Chiappone, A. Curran, P. Dustan, G. Gaudian, F. Geraldés, S. Gittings, R. Smith, W. Tunnell & J. Weiner (1998). "Status of coral reefs in the northern areas of the wider Caribbean, p. 23-134. In. C. Wilkinson (ed.). *Status of Coral Reefs of the World-1998*. Australian Institute of Marine Science.
- Lang J.C. (2003). "*Status of Coral Reefs in the Western Atlantic: Results of Initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Assessment (AGRRA) Program*". Atoll research bulletin no. 496. 625 pp.
- León C, J. Sosa & S. Graf (2008) "Alianzas intermunicipales en México: alternativas y ejemplos para la descentralización" 91-120 pp. en Fraga J., G. J. Villalobos, S. Doyon & A. García. *Descentralización y manejo ambiental Gobernanza Costera en México*, Plaza y Valdés S.A. de C.V, 393 pp.
- Lessios H.A., J.D. Cubit, D.R. Robertson, M.J. Shulman, M.R. Parker, S.D. Garrity & S.C. Levings (1984). "Mass mortality of *Diadema Antillarum* on the Caribbean coast of Panama". Coral Reefs. Springer-Verlag. 3:173-182.
- Lessios H.A. (1988). "Mass mortality of *Diadema Antillarum* in the Caribbean: What have we learned?". Rev. Ecol. Syst. 19: 371-393.
- Lessios H.A., M.J. Garrido & B.D. Kessing (2001). "Demographic history of *Diadema Antillarum*, a keystone herbivore on Caribbean reefs". Proc. R. Soc. Lond. B. Vol. 268. N° 1483, pp. 2347-2353.
- Lipp E. K., J. L. Jarrell, D. W. Griffin, J. Lukasik, J. Jacukiewicz & J. B. Rose (2002). "Preliminary evidence for human fecal contamination in corals of the Florida Keys, USA". Marine Pollution Bulletin 44 (3): 666-670.
- Lipp, E.K. & Griffin, D.W. (2004). "Analysis of coral mucus as an improved medium for detection of enteric microbes and for determining patterns of sewage contamination in reef environments". EcoHealth 1, 317–323 pp.
- Lirman D., S. Schopmeyer, D. Manzello, L. J. Gramer, W. F. Precht, F. Muller-Karger, K. Banks, B. Barnes, E. Bartels, A. Bourque, J. Byrne, S. Donahue, J. Duquesnel, L. Fisher, D. Gilliam, J. Hendee, M. Johnson, K. Maxwell, E. McDevitt, J. Monty, D. Rueda, R. Ruzicka & S. Thanner (2011). "Severe 2010 Cold-Water Event Caused Unprecedented Mortality to Corals of the Florida Reef Tract and Reversed Previous Survivorship Patterns". PLoS ONE. Vol 6. Issue 8. 10 pp.
- Litter M. M. & D. S. Litter (1984). "Models of tropical reef biogenesis: The contribution of algae". Progress in Phycological Research (3): 323-364 pp. en Szmant A.M. (2002). "Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?". Estuaries. Vol. 25, No 4b, p. 743-766.
- López R. (2009). "Denuncian contaminación en Akumal y Yalkú". Nota periodística de SIPSE publicado en la página <http://sipse.com/noticias/1045-denuncian-contaminacion-akumal-yalku.html> y revisado en Junio del 2012.
- MacKenzie D. (2001). "Mass coral bleaching" revisada en <http://www.fisherycrisis.com/coral1.html> el 26 de Enero del 2012.
- Marshall, P., H. Schuttenberg. (2006). "A reef manager's guide to coral bleaching". Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville. 178pp.

- Marubini, F. & P.S. Davies (1996). "Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals". *Marine Biology* 127: 319–328 pp.
- Marubini F. & M.J. Atkinson (1999). "Effects of lowered pH and elevated nitrate on coral calcification". *Marine Ecology Progress Series* 188: 117-121 pp.
- McCook, L.J., G.R. Almany, J. Day, A. Green, G.P. Jones, J.M. Leis, S. Planes, G.R. Russ, P.F. Sale, and S.R. Thorrold (2009). "Management under uncertainty: guide-lines for incorporating connectivity into the protection of coral reefs". *Coral Reefs* (28): 353-366 pp.
- Meixueiro G. M. (2008). "El impacto del turismo en el desarrollo local: una evaluación de resultados". Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. Documento de Trabajo Núm. 48. 40pp.
- Metcalfe C. D., P. A. Beddows, G. G. Bouchot, T. L. Metcalfe, H. Li & H. Van Lavieren (2011). "Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico". *Environmental Pollution* 159: 991-997 pp.
- Moberg F. & C. Folke (1999). "Ecological goods and services of coral reef ecosystems". *Ecological Economies*. (29): 215-233 pp.
- Moreno-Casasola P. & E. Peresbarbosa (2006). "Manejo integral de la zona costera". Instituto de Ecología, A.C. 30pp.
- Mumby P.J., E.P. Green, A.J. Edwards & C.D. Clark (1997). "Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide?". *Marine Biology*. Vol. 130 (2): 193-202pp.
- Mumby P.J., W. Skirving, A.E. Strong, J.T. Hardy, E.F. LeDrew, E.J. Hochberg, R.P. Stumpf & L.T. David (2004). "Remote sensing of coral reefs and their physical environment". *Marine Pollution Bulletin*. ELSEVIER. Vol. 48 (3-4): 219-228pp.
- Muñoz-Chagín, R.F. & G.de la Cruz-Aguera (1993). "Corales del Arrecife de Akumal, Quintana Roo". p. 761-771. en Roy R.E. (2004). *Akumal's reefs: Stony coral communities along the developing Mexican Caribbean coastline*. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 52, no 4.
- Murray S.N., R. F. Ambrose, J. A. Bohnsack, L. W. Botsford, M. H. Carr, G. E. Davis, P. K. Dayton, D. Gotshall, D. R. Gunderson, M. A. Hixon, J. Lubchenco, M. Mangel, A. MacCall, D. A. McArdle, J. C. Ogden, J. Roughgarden, R. M. Starr, M. J. Tegner, & M. M. Yoklavich (1999). "No-take Reserve Networks: Sustaining Fishery Populations and Marine Ecosystems". *Fisheries*. Vol. 24 (11): 11-25 pp.
- Mutchler T., K. H. Dunton., A. Townsend-Small, S. Fredriksen & M. K. Rasser (2007). "Isotopic and elemental indicators of nutrient sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74: 449-457.
- NOAA (2009). "Local Action Strategies" revisado en <http://www.coralreef.gov/las/> 29/02/2012 a las 01:02pm.
- Ojeda C. M. (2008). "Selección de indicadores para la evaluación de las Áreas Marinas Protegidas". Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Alicante. 454 pp.
- Ojeda-Martínez, C., F. Giménez, J. Bayle-Sempere, C. Barbera, C. Valle, J. Sanchez-Lizaso, A. Forcada, P. Sanchez-Jerez, P. Martín-Sosa & J. Falcón. (2009). "A conceptual framework for the integral management of marine protected areas". *Ocean Coast. Manag.*, 52: 89-101 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.10.004>
- Ortega I. (2009) (representante de México ante la Iniciativa Internacional de Arrecifes). Entrevista para el periódico *La Jornada*, por Angélica Enciso L. Revisada en el link: <http://www.jornada.unam.mx/2009/04/14/index.php?section=sociedad&article=036n1soc>

- Osborne K. & W.G. Oxley (1997). "Sampling benthic communities using video transects". en English S, Wilkinson C. & V. Baker (Eds.) 1997 *Survey manual for tropical marine resources*. 2nd Ed. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville Australia.
- Patterson, K.L., J.W. Porter, K.E. Ritchie, S.W. Polson, E. Mueller, E.C. Peters, D.L. Santavy, & G.W. Smith (2002). "The etiology of white pox, a lethal disease of the Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 8725–8730.
- Patterson-Sutherland K. & K.B. Ritchie (2004). "White pox disease of the Caribbean elkhorn coral *Acropora palmata*". En: Rosenberg E. & Y. Loya (Eds.) *Coral Health and Disease*. Springer-Verlag, Heidelberg. 289-297 pp.
- Pastorok R. A. & G. R. Bilyard (1985). "Effects of sewage pollution on coral-reef communities". *Marine Ecology Progress Series*. (21): 175-189 pp.
- Pelletier D., K. Leleu, G. Mou-Tham, N. Guillemot & P. Chabanet (2010). "Comparison of visual census and high definition video transects for monitoring coral reef fish assemblages". *Fisheries Research*. (107): 1-3, 84-93 pp.
- Pittock A. B. (1999). "Coral Reefs and Environmental Change: Adaptation to What?". *American Zoology*. 39 (1): 10-29.
- Pomeroy, R.S., J.E. Parks, & L.M. Watson (2004). "How is your MPA doing? A Guidebook of Natural and Social Indicators for Evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness". IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xvi + 216 pp.
- Porter J.W., P. Dustan, W.C. Jaap, K.L. Patterson, V. Kosmynin, O.W. Meier, M.E. Patterson & M. Parsons (2001). "Patterns of spread of coral disease in the Florida Keys". *Hydrobiologia* 460:1–24
- Raymundo L., S. Courtney & C. Harvell (2008). "The Objectives and Scop of this Manual, en Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program" en *Coral disease handbook. Guidelines for assesement, monitoring & management (7-17)*. Currie Communications, Australia, 114 pp.
- Richards A., J.M. Cervino, V. Karachun, E.A. Lorence, E. Bartels, K. Hughen, G.W. Smith & T.J. Goreau (2008). "Coral Yellow Band Disease; current status in the Caribbean, and links to new Indo-Pacific outbreaks". *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008*. 236-240 pp.
- Rosenberg E. & A. Kushmaro (2011). "Microbial Diseases of Corals: Pathology and Ecology". *Earth & Environmental Science. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. (5): 451-464 pp.
- Roy R.E. (2004) "Akumal's reefs: Stony coral communities along the developing Mexican Caribbean coastline". *Revista de Biología Tropical*. Vol. 52, no 4.
- Ryan K.E., J.P. Walsh, D.R. Corbett & A. Winter (2008). "A record of recent change in terrestrial sedimentation in a coral-reef environment, La Parguera, Puerto Rico: A response to coastal development?". *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 56 (6): 1177-1183 pp.
- Sale P.F., J. P. Kritzer & J. E. Arias (2002). "Recomendaciones para un Programa de Monitoreo Sinóptico en la Región Arrecifal Mesoamericana. Segundo Reporte Regional en Ecología de Arrecifes coralinos al PCU SAM/MBRS" Universidad de las Naciones Unidas, Red Internacional de Agua, Ambiente y Salud en cooperación con el Instituto de Manejo de la Zona Costera de Belice, y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados – Unidad Mérida, México. 51pp.

- Sale P.F, H. Van Lavieren, M.C. Ablan Lagman, J. Atema, M. Butler, C. Fauvelot, J.D. Hogan, G.P. Jones, K.C. Lindeman, C.B. Paris, R. Stenecky & H.L. Stewart (2010). "Conservando la Conectividad de los Arrecifes: Guía Para los Administradores de las Áreas Marinas Protegidas". Grupo de Trabajo de Conectividad, Programa de Investigación Dirigido a los Arrecifes de Coral y a la Creación de Capacidades para la Gestión, UNU-INWEH.
- SAM (2004). "Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en Áreas Protegidas Marinas de Mesoamérica". Programa Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Programa Ambiental para Centroamérica. Belice – Guatemala – Honduras - México. 57pp.
- Santavy, D. L., E. C. Peters, C. Quirolo, J. W. Porter, & C. N. Bianchi (1999). "Yellow blotch disease outbreak on reefs of the San Blas Islands, Panama". Coral Reefs. 18-97 pp.
- Schwarz, J.A., P.B. Brokstein, C. Voolstra, Astrid y Terry, D.J. Miller, A. M Szmant, M. A. Coffroth & M. Medina (2008). "Coral life history and symbiosis: Functional genomic resources for two reef building Caribbean corals, *Acropora palmata* and *Montastraea faveolata*". BMC Genomics. 9: 435.
- SECTUR (2012). "Barómetro turístico de la Riviera Maya. Importante herramienta de medición para la toma de decisiones" consultado en <http://datatur.sectur.gob.mx/work/sites/datatur/resources/LocalContent/308/6/RIVIERAMAYaBarmetrRM.pdf> el 27/09/2012.
- SEMARNAT (2005). "Calidad del agua en zonas costeras". Revisado en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/recuadros/c_rec3_07.htm el 24/08/2012.
- SEMARNAT (2008). "Biodiversidad" en *Informe de la situación medioambiental en México*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cap IV. p. 148-190
- SEMARNAT (2010). <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/fronterasur/Paginas/Problematica.aspx> revisada el 25 de Enero del 2012.
- SEMARNAT (2010). "Términos de referencia para la formulación de los programas de ordenamiento ecológico local". Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/OrdenamientoEcol%C3%B3gico.aspx>
- SEMARNAT (2010). "Política Nacional de Mares y Costas de México". Propuesta de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES) 67 pp.
- Solís V. (2002). "Memorias del Seminario-Taller: Participación de las comunidades locales en el manejo de las áreas protegidas y la conservación de la biodiversidad: Instrumentos para la acción", organizado en el marco del VI Congreso para la Sociedad Mesoamericana de la Biología y la Conservación realizado en San José, Costa Rica, en setiembre del 2002. Consultado en <https://t.com/ieQvxBcl> el 10 de Septiembre del 2012.
- Spalding, M. & A. Grenfell (1997). "New estimates of global and regional coral reef areas". Coral Reefs 16, 225-230 pp. en Green E. P. & Bruckner A.W. (2000). "The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation". Biological Conservation 96 (3) 347-361 pp.
- Spalding, M. D., H.E. Fox, G.R. Allen, N. Davidson, Z.A. Ferdana, M. Finlayson, B.S. Halpern, K.D. Martin, E. Mcmanus, J. Molnar, C.A. Recchia, & J. Robertson (2007). "Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas". BioScience, Vol. 57, No. 7, 573-583 pp.
- Steneck, R.S & M.N. Dether, (1994). "A functional group approach to the structure of algal-dominated communities". Oihos (69): 476-498 pp. en Szmant A.M. (2002). "Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?". Estuaries. Vol. 25, No 4b, p. 743-766.
- Steneck, R.S & J.C. Lang, (1998). "March rapid assessment of the reef systems at Akumal and Xclak, Quintana Roo, Yucatan Peninsula, Mexico. With comparisons to other reef systems". AGRRA 16pp.

- Stone G. S., R.A. Mittermeier, O. Aburto-Oropeza, C. Campagna, K.E. Carpenter, L.P. Madin, D. Obura, E. Sala, C.G. Mittermeier, S. Tröeng & P.A. Seligman (2011). "Oceans: Heart of Our Blue Planet". CEMEX & iLCP.
- Sutherland K. P., J. W. Porter & C. Torres (2004). "Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals". *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 266: 273-302 pp.
- Sutherland KP, J.W. Porter, J.W. Turner, B.J. Thomas, E.E. Looney, T.P. Luna, M.K. Meyers, J. C. Futch & E.K. Lipp (2010). "Human sewage identified as likely source of white pox disease of the threatened Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*". *Environ Microbiol*.12(5): 1122–1131 pp.
- Sutherland K.P., S. Shaban, J.L. Joyner, J.W. Porter & E.K. Lipp (2011) "Human Pathogen Shown to Cause Disease in the Threatened Eklhorn Coral *Acropora palmata*". *PLoS ONE* 6(8): e23468. doi:10.1371/journal.pone.0023468
- Szmant A.M. (2002). "Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?". *Estuaries*. Vol. 25, No 4b, p. 743-766.
- Thacker R. W., D. W. Ginsburg & V.J. Paul (2001). "Effects of herbivore exclusion and nutrient enrichment on coral reef macroalgae and cyanobacteria". *Coral Reefs* 19: 318-329 pp.
- The Coral Reef Alliance (2005). "Los Arrecifes de coral y el desarrollo sostenible" revisado en www.coral.org/files/pdf/breifs/coastaldev_esp.pdf el 05 de Febrero del 2012.
- Toledo A. R. (2006). "Gobernanza de los Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas en los Andes Tropicales. Diagnóstico regional y análisis comparativo". Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN). Quito, Ecuador, 68 pp.
- UNEP-WCMC. 2006. *In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK. 33 pp.
- Uribe P., S. Moguel, J. Torre, L. Bourillon & A. Sáenz-Arroyo (2010). "Implementación de reservas marinas en México". CEMDA & COBI. 73 pp.
- Vázquez León, C. (2006). Las comunidades costeras mexicanas como elemento en el ordenamiento territorial marino costero, en Córdova y Vázquez, A. et.al, *Ordenamiento Ecológico Marino: Visión temática de la regionalización*, (147-156), México, D.F: INE
- Vega, A. (2003). Reproductive strategies of the spiny lobster *Panulirus interruptus* related to the marine environmental variability off central Baja California, México: management implications. *Fisheries research*. 65 (1-3): 123-135.
- Vera J.C. (2010). "Sistema Arrecifal Mesoamericano" revisado en el portal <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/fronterasur/Paginas/SAM.aspx> el 29/03/2012 a la 01:06p.m.
- Vermeji Mark J.A., I.V. Moorselaar, S. Engelhard, C. Hörnlein, S.M. Vonk & P.M. Visser P.M. (2010). "The Effects of Nutrient Enrichment and Herbivore Abundance on the Ability of Turf Algae to Overgrow Coral in the Caribbean". *PLoS ONE*. Vol. 5, Issue 12, 1-8 pp.
- Veron, J.E., O. Hoegh-Guldberg, T.M. Lenton, J-M- Lough, D.O. Obura, P. Pearce-Kelly, C.R. Sheppard, M. Spalding, M.G. Stafford-Smith & A.D. Rogers (2009). "The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂". *Marine Pollution Bulletin* 58 (1428–1436 pp.). ELSEVIER.
- Vogt H., A.R.F. Montebon & M.L.R. Alcalá (1997). "Underwater video sampling: an efective method for coral reef surveys?". *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.* 2:1447-1452 pp.

- Voss J. D. & Richardson L. L. (2006). "Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals". *Coral Reefs* (25): 569-576 pp.
- Walsh-Perú S.A. (2009) "Estudio de impacto ambiental y social Proyecto Nitratos del Perú". Walsh Perú S.A. Ingenieros y Científicos Consultores
- Weil Ernesto (2004) "Coral Reef Diseases in the Wider Caribbean" en Rosenberg E. & Loya Y. (Eds.) *Coral Health and Disease*. Springer 485 pp.
- Weil, E., G.W. Smith & D.L. Gil-Agudelo (2006). "Status and progress in coral reef disease research". *Dis. Aquat. Organ.* 69(1):1-7.
- Wilkinson CR (Ed.) (1998) "Status of Coral Reefs of the World: 1988". Australian Institute of Marine Science, Australia 184 pgs.
- Wilkinson CR (Ed.) (2000) "Status of Coral Reefs of the World: 2000". Australian Institute of Marine Science, Australia 363 pgs.
- Wilkinson, C.R. (2002). "Status of Coral Reefs of the World: 2002". Australian Institute of Marine Science, Australia, 378 pp.
- Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan & M. Padilla (2009). "Ecorregiones marinas de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental" Montreal, 200 pp.
- Williamsl.D. & N.V.C. Polunin (2001). "Large-scale associations between macroalgal cover and grazer biomass on mid-depth reefs in the Caribbean". *Coral Reefs* (19): 358-366 pp.
- WWF (2003). "Metodología para la evaluación y priorización rápidas del manejo de áreas protegidas RAPPAM". Obtenido de: awsassets.panda.org/downloads/rappam_2.pdf
- WWF (2006). "Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos. Guía para la colecta de información que apoye el Manejo de Pesquerías Basado en Ecosistemas". WWF México/Centroamérica. 81 pp.