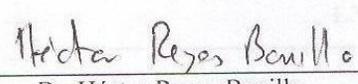


TESIS DEFENDIDA POR
Tannia Cristina Frausto Illescas
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



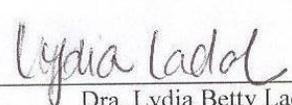
Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Director del Comité



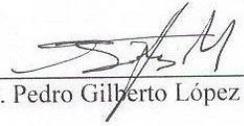
Dr. Héctor Reyes Bonilla
Miembro del Comité



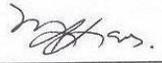
Dr. Xchel Gabriel Moreno Sánchez
Miembro del Comité



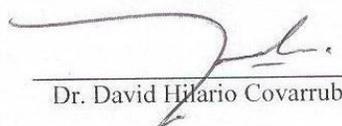
Dra. Lydia Betty Ladah
Miembro del Comité



Dr. Pedro Gilberto López Mariscal
Miembro del Comité



Dra. María Lucila del Carmen Lares
Reyes
*Coordinador del programa de posgrado
en Ecología Marina*



Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

12 de octubre de 2012

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**Simulación del efecto del turismo subacuático sobre el ecosistema arrecifal de Cabo
Pulmo, Baja California Sur, mediante un modelo trófico**

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Tannia Cristina Frausto Illescas

Ensenada, Baja California, México, 2012

RESUMEN de la tesis de **Tannia Cristina Frausto Illescas**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en Ecología Marina. Ensenada, Baja California. Octubre del 2012.

Simulación del efecto del turismo subacuático sobre el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo, Baja California Sur mediante un modelo trófico



Resumen aprobado por:

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Director de Tesis

Cabo Pulmo es el ecosistema arrecifal coralino más septentrional del océano Pacífico y está ubicado en las costas de Baja California Sur. Actualmente se le considera Área Natural Protegida reconociendo así su importancia social y ecológica. Debido a su valor estético y a su cercanía con otros centros turísticos, Cabo Pulmo posee un alto potencial de desarrollo turístico, sin embargo hay que considerar que existe una relación directa entre el desarrollo turístico y el deterioro costero. El buceo libre y autónomo son actividades recreativas practicadas en Cabo Pulmo, estas actividades pueden causar un deterioro al ecosistema debido a que en algunas ocasiones los buzos golpean o fracturan a los corales. Considerando lo anterior, es necesario evaluar el efecto de estas actividades a nivel ecosistémico, para lo cual se construyó un modelo de balance de masas de la cadena trófica de Cabo Pulmo empleando el programa *Ecopath with Ecosim* (ver 6.2) y así simular las principales consecuencias ecológicas de estas actividades. El modelo se construyó con 34 grupos funcionales (30 consumidores, tres de productores primarios y uno de detritus). Los parámetros para construir el modelo (biomasa, relaciones producción/biomasa y consumo/biomasa) fueron obtenidos de muestreos en campo y de la literatura científica. Se simularon cuatro escenarios en un horizonte temporal de 20 años, basados en el supuesto de un estudio *ad hoc* que 136 buzos producen 60 contactos a los corales y que cada 10 contactos causan una pérdida de cobertura de tejido vivo coralino del 0.001%. Cada escenario representó un incremento en el número de buzos y sus respectivas tasas de pérdida de cobertura coralina, la cual se estableció a partir del número de contactos al coral que muestran los buzos en esa zona. Los resultados indican que comparando los atributos tróficos de Cabo Pulmo con otros ecosistemas arrecifales, Cabo Pulmo presenta un comportamiento similar al de la Bahía de la Paz, de acuerdo a este trabajo el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo puede sostener la tasa de actividades recreativas subacuáticas actuales sin que se vea afectada su estructura trófica. En caso de incrementarse estas actividades, se recomienda limitar el número a un máximo de 63 buzos por día.

Palabras Clave: **ecosistema arrecifal, turismo subacuático, modelo de balance de masas.**

Abstract of the thesis presented by Tannia Cristina Frausto Illescas as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, Mexico October 2012

Simulation of the impact of underwater tourism in the Cabo Pulmo coral reef ecosystem, Baja California Sur, using a trophic model

Located on the coast of Baja California Sur, Cabo Pulmo is the northernmost coral reef of the eastern Pacific and is currently a natural protected area due to its social and ecological importance. Cabo Pulmo's beauty and proximity to other touristic resorts place it at a high risk for tourist development, however, there is a clear tradeoff between tourist development and coastal degradation. Snorkeling and SCUBA diving are some of the recreational activities of Cabo Pulmo, yet divers are known cause damage either intentionally or accidentally to corals. The aim of this work was to simulate that effect of divers on the ecosystem through a mass balance model using *Ecopath with Ecosim* (ver 6.2). The model includes 34 functional groups (30 consumers, three primary producers and one detritus). Parameters (biomass, production/biomass, consumption/biomass) were obtained from field surveys (May and November 2011) and from published sources. Four scenarios were simulated for a 20 year period, under the assumption based on an ad hoc study that 136 divers infringe 60 contacts to corals and that every 100 contacts cause a 0.001% decline in live coral cover. Each scenario represents an increase in the number of divers and in the resultant loss of live coral cover. Results show that Cabo Pulmo resembles other coral reefs such as those in Bahia de La Paz. In conclusion, Cabo Pulmo coral reefs are currently healthy and can sustain current underwater activities, but limiting the number of underwater visitors to 48 per day is recommended by this study.

Key Words: coral reef ecosystem, underwater tourism, trophic model.

Pues si me muero vuelvo a venir otra vez de vuelta porque aquí está bonito, y si me voy y ya no vuelvo, es muy triste también. Pero yo digo una cosa, todo esto no es de nosotros, nada, absolutamente nada, todo lo que tienes va a quedar aquí en la tierra.

Trinidad Ochurte, cantador kiliwa

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera por darme toda la oportunidad de desarrollar un trabajo con amplia libertad, por facilitarme el vivir varias experiencias las cuales me permitieron crecer en lo personal y profesional, pero sobre todo gracias por esa calidez humana.

Al Dr. Héctor Reyes Bonilla. Gracias por todos tus comentarios y observaciones realmente fueron una guía fundamental para desarrollar este trabajo, sobre todo gracias por lo mucho o poco que pude aprender de ti.

Al Dr. Xchel Gabriel Moreno Sánchez. Gracias por su confianza al compartirnos gran parte de su trabajo, el cual es parte fundamental de esta obra.

A la Dra. Lydiah Lada. Gracias por todas sus observaciones y sobre todo por su apoyo a lo largo de estos años.

Al Dr. Gilberto López Mariscal. Gracias por sus recomendaciones, siempre es bueno contar con un “no biólogo” en el equipo ayuda a ampliar el panorama.

Al Dr. Daniel B. Lluch Cota por su participación para la estimación de la biomasa de la sardina.

Al Dr. Ernesto García Mendoza y a la Dra. Sharon Zinah Herzka Llona, por ayudar a estimar la biomasa de fitoplancton del modelo.

Al CONACYT, por su apoyo económico para poder desarrollar mis estudios de posgrado mediante la beca CVU 290628.

Al CICESE por cumplir todas mis expectativas, por los buenos profesores e investigadores que conocí en mi estancia.

A la ECORED-CONACYT por permitirme tomar el curso de *Ecopath with Ecosim* con Villy Christensen.

Mi más sincero agradecimiento a todo el equipo del laboratorio de Sistemas Arrecifales de la UABCS, gracias a su trabajo de muestre en Cabo Pulmo se cuenta con datos de censos de peces y análisis de cobertura coralina. En particular gracias a Gena, Manu, Ollin, Bocos, Chunga, Afe, Peter, Yoga, Violeta, Sarha, María, Pedro y Nuria por permitirme trabajar con ustedes en la campañas del 2011.

Gracias Sara y Leo por permitirme compartir su espacio y aprender de ustedes, fue una grata experiencia conocerlos.

Al. Biól. Mar. Israel Sánchez Alcántara alias *Chunga* por su amistad y por todo su trabajo fotográfico que enriquece las exposiciones del presente trabajo.

Gracias a todos los integrantes del Laboratorio de Esclerocronología, Eecología y Pesquerías de la zona costera, a todos mis “hermanos y primos” académicos, Nancy, Geo, Jenny, Orión, Constanza, Gina, Ely, Montse, Rosy y Ceci. Gracias Constanza por esa actitud tan positiva siempre me relajas.

Gracias Víctor por siempre estar dispuesto para resolver mis problemas técnicos.

A mis compañeros de posgrado y en particular gracias a Mirayana, Elizabeth, Pablo, Myriam y Raquel por ser mi familia en Ensenada, siempre los llevare en mi corazón, les deseo lo mejor. Gracias porque me permitieron conocerlos y vivir experiencias inolvidables con ustedes, los quiero mucho.

Al *Team Whale Malake Trip*, Esther, Stavros, Ena, Julio, Hugo, Marichuy, Cinthya, Elizabeth, Pablo, Miryam y Raquel, fue todo un placer viajar con ustedes y vivir esa enorme e inolvidable experiencia.

Finalmente gracias a mi hermosa y enorme familia, todos los Frausto y todos los Illescas, sobre todo gracias mamá, por ayudarme a ser la mujer que soy ahora. Papá gracias por todo tu apoyo y cariño. Yezika eres mi hermana preferida y una buena amiga. Mike, gracias por ser un buen hermano mayor. Dany, gracias por enseñarnos a crecer como familia. Susy, gracias por hacer feliz a mi hermano y ser parte de la familia. Anais, eres mi corazoncito. Les agradezco a todos su apoyo y su cariño, los quiero mucho.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	11
1.1	Turismo en México	12
1.2	Turismo en Cabo Pulmo	13
1.3	Actividades subacuáticas recreativas y el daño a los arrecifes coralinos	15
1.4	Aprovechamiento multiespecífico	16
1.5	Marco conceptual y antecedentes	16
1.6	Hipótesis.....	18
1.6.1	<i>Principal</i>	18
1.6.2	<i>Específicos</i>	18
2	Metodología	19
2.1	Área de estudio.....	19
2.1.1	<i>Cabo Pulmo</i>	19
2.1.2	<i>Condiciones Oceanográficas</i>	20
2.1.3	<i>Fauna y Flora</i>	23
2.2	Modelos de balance de masas	24
2.2.1	<i>Definición de Grupos Funcionales</i>	29
2.2.2	<i>Parámetros iniciales (B, P/B y Q/B)</i>	35
2.2.3	<i>Matriz de dietas</i>	38
2.2.4	<i>Balanceo del modelo</i>	39
2.2.5	<i>Simulaciones</i>	40
3	Resultados	42
4	Discusiones	52
5	Conclusiones	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Parque Nacional de Cabo Pulmo, Baja California Sur, México ..	14
Figura 2. Zonificación del Parque Nacional Cabo Pulmo (CONANP, 2006). La línea verde delimita el parque nacional, la zona en color crema es la zona de amortiguamiento y los polígonos en azul claro son las zonas núcleo.....	20
Figura 3 Condiciones oceanográficas promedio de 1998 a 2012 para el PNCP: a) concentración de clorofila, b) incidencia de luz y c) temperatura, cortesía de Cecilia Mozqueda.....	22
Figura 4 Esquema de un modelo de balance de masa y energía, para un sistema con múltiples procesos. La flecha en ambos sentidos indica que el modelo matemático representa el flujo tanto de entrada como de salida de masa y de todos los procesos que en él se desarrollan.....	24
Figura 5 Esquema de la ruta crítica sugerida para la construcción de un modelo de balance de masas empleando <i>ECOPATHy</i> simulación de escenarios con <i>ECOSIM</i>	29
Figura 6 Esquema de la cadena trófica del EAr de Cabo Pulmo, cada GF se ubica de acuerdo al NT, el tamaño de los círculos representa la biomasa de cada grupo.	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Ecosistemas Coralinos Arrecifales. Modificado de (Moberg & Folke, 1999).....	12
Tabla 2 Combinación de NT y longitud máxima para la construcción de los GF de la comunidad íctica. Se indica el nombre del GF, asignado a la especie de mayor abundancia.	31
Tabla 3 Grupos Funcionales con los que se construyó el modelo de balance de masas para el Ear de Cabo Pulmo, así como los diferentes taxa que conforman cada GF y las principales fuentes de información.	32
Tabla 4 Parámetros (B, PB y QB) para los 34 GF del modelo de Cabo Pulmo y sus principals referencias.	37
Tabla 5 Cuadro resumen de los cuatro diferentes escenarios sobre el posible incremento de las actividades recreativas subacuáticas en CP y el escenario extremo.	41
Tabla 6 Parámetros de salida para el modelo balanceado de la cadena trófica del EAr de Cabo Pulmo.....	43
Tabla 7 Variación porcentual en la biomasa de cada GF con respecto a la biomasa inicial y bajo diferentes escenarios.	47
Tabla 8 Valor de eficiencia ecotrófica para los diferentes grupos funcionales, bajo cada escenario estudiado.	49
Tabla 9 Principales descriptores tróficos para los diferente s modelos del EAr de CP.	50
Tabla 10 Porcentaje de consume total, exportación total, flujo de respiración y flujo de detritus en relación a la suma total de flujos de biomasa, para los diferentes escenarios del incremento en las actividades de buceo en Cabo Pulmo.	51
Tabla 11 Porcentaje del Consumo, Exportación total, Respiración , Flujo de detritus en relación a la suma del total de flujos para diferentes Ear.....	57

1 Introducción

Los ecosistemas arrecifales coralinos (EAr) son de los ecosistemas más diversos que existen (Connell, 1978). Su estructura principal son las formaciones calcáreas de los corales hermatípicos. Este grupo de corales son capaces de crear formaciones calcáreas a través del sucesivo crecimiento, depósito y consolidación de carbonatos de calcio dentro de su organismo. El resultado de estas formaciones calcáreas es el aumento de la heterogeneidad del hábitat, lo cual se refleja en una amplia combinación de condiciones ambientales en las cuales pueden desarrollarse diferentes organismos, dando como resultado una alta biodiversidad. Se estima que entre 618,000 a 9,477,000 especies habitan los diferentes EAr del mundo (Knowlton et al., 2010; Zvy Dubinsky & Stambler, 2011).

En adición a su alta diversidad, los EAr proporcionan una serie de funciones ecológicas, bienes y servicios ecosistémicos, algunos de los cuales se muestran en la tabla 1. En el presente trabajo abordaremos con peculiar interés aquellos servicios relacionados a la recreación y el entretenimiento. (Roblez-Zavala, 2010) utilizó el Método de Costo Viaje como indicador indirecto del valor recreacional de los arrecifes de coral, estimando el beneficio económico (en pesos mexicanos) por la actividad de buceo libre y autónomo en Bahías de Huatulco en \$378,172,000, en Ixtapa-Zihuatanejo en \$494,249,800 y \$13,691,700, para Cabo Pulmo. Estas cifras se obtuvieron a partir de los resultados del modelo de costo de viaje zonal, esto es, el viaje a la zona en la que se encuentra el arrecife y no específicamente al sitio.

Desafortunadamente, desde la década de los 80's hasta la actualidad se ha registrado una acelerada degradación en estos ecosistemas, lo que trae como consecuencia que el 60% de los EAr, se encuentre en riesgo y que un tercio de las especies de corales formadores de arrecife se encuentran en algún nivel de protección (Carpenter et al., 2008; Wilkinson & Salvat, 2012). Tan solo en el Caribe se ha registrado una pérdida de cobertura coralina del 80% en los últimos 25 años (Weber, 1993; Wilkinson & Salvat, 2012).

Tabla 1. Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Ecosistemas Coralinos Arrecifales. Modificado de (Moberg & Folke, 1999).

Bienes	Servicios Ecosistemicos	
•Fuente de alimento	•Protección de la línea de costa	•Regulación del Ca
•Extracción de agentes activo de medicamentos	•Construcción de sustrato	•Recreación y entretenimiento
•Materias primas	•Generación de arena de coral	•Paisaje e inspiración artística
•Joyería	•Zona de crianza	•Valor cultural, religioso y espiritual
•Ornato	•Fijación de N	•Fijación de CO ²
•Material para construcción	•Exportación de biomasa	•Reservorio genético

Las principales causas de esta acelerada degradación son: el fenómeno de blanqueamiento, inadecuadas practicas de pesca (sobre pesca, uso de dinamita y cianuro), contaminación, incremento de nutrientes (aporte de agua residuales) y prácticas de turismo no sustentable. El turismo es tema de interés, ya que puede ser causa de algunos de dichos problemas, en particular la pérdida de cobertura coralina por contacto al bucear e inadecuadas prácticas de pesca. (Bellwood et al., 2004; Björk et al., 1995; Dubinsky & Stambler, 1996; Fox & Caldwell, 2006; Grigg, 1994; Kleypas et al., 1999; McCook, 1999; Mous et al., 2000; Pastorok & Bilyard, 1985; Szmant, 2002; Zvy Dubinsky & Stambler, 2011).

1.1 Turismo en México

El turismo es una actividad económica terciaria (servicio) que involucra todas las actividades que desarrollan las personas al realizar un viaje incluyendo transporte, alojamiento y recreación. Dependiendo la manera en cómo se desarrollen las actividades turísticas, éstas pueden presentar tres diferentes impactos sobre el ecosistema. El impacto puede ser positivo, al convertir al turismo en una actividad económica alternativa a la extracción de recursos naturales, lo cual reduce la presión que se ejerce sobre el ecosistema en lo referente a la extracción de recursos naturales. Un impacto neutro, si las actividades turísticas no afectan significativamente al ecosistema. Y el impacto puede ser negativo

cuando se realiza una inadecuada planeación de las actividades turísticas y superan la capacidad de carga del ecosistema (Holden, 2009).

El turismo para México en el 2008 representó el 8.7 % del Producto Interno Bruto (PIB), siendo los principales destinos turísticos los centros de playa (Soria et al., 2011). Baja California Sur posee tres destinos de playa: Loreto, La Paz y el corredor turístico de Los Cabos (CTLC), lo que convierte al turismo en la principal actividad económica del estado. El CTLC es un centro integralmente planeados el cual recibe 870,076 visitantes por año, de los cuales el 80 % son extranjeros, además de ser el segundo puerto turístico más importante a nivel nacional (Propin Frejomil & Sánchez Crispín, 2007). Los turistas que llegan al CTLC, principalmente los extranjeros, buscan en este destino más allá del esparcimiento en la playa, realizar actividades recreativas tales como: la pesca deportiva, golf, buceo, surf, paracaidismo y el uso de motos acuáticas. Otros lugares fuera del CTLC pero de igual forma frecuentados por los turistas son Todos Santos, Los Barriles y Cabo Pulmo, éste último, es una zona arrecifal empleada para la práctica de buceo y el sitio de estudio de esta trabajo (López, 2002).

Debido a que el CTLC se desarrolla en un ambiente frágil y con serías limitaciones de recursos hídricos, las actividades del CTLC comienzan a tener un efecto negativo en el ecosistema. Ejemplo de esto son: el cambio de uso de suelo que repercute en la pérdida de vegetación xerófila endémica, generando así un proceso de erosión, y las inadecuadas prácticas de pesca deportiva que provocan una disminución en las poblaciones de marlín y favorecen el tráfico ilegal de especies endémicas de peces (Herrera-Ulloa et al., 2003; López-López et al., 2006).

1.2 Turismo en Cabo Pulmo

Cabo Pulmo (CP) es el ecosistema arrecifal coralino más septentrional del océano Pacífico, ubicado en las costas del municipio de Los Cabos, Baja California Sur (figura 1). Desde 1995 se reconoce a Cabo Pulmo como Área Natural Protegida, primero como Parque Marino Nacional y posteriormente recategorizado a Parque Nacional, reconociendo así su importancia social y ecológica. Además, se ha estimado un incremento en la abundancia y talla de la comunidad íctica de esta zona, seguramente a consecuencia de la estrategia de

“No pesca” que se aplica en el Parque Nacional de Cabo Pulmo (Aburto-Oropeza et al., 2011; CONANP, 2006).

Cabo Pulmo se rige bajo la estrategia de no pesca, por lo cual el turismo se convierte en la actividad económica principal para los habitantes de esta localidad. Cuenta con una población residente de 58 habitantes y recibe anualmente 3,000 visitantes aproximadamente en su mayoría extranjeros. La infraestructura turística reportada para Cabo Pulmo comprende: 5 empresas de servicios turísticos, 5 restaurantes, 3 empresas de alojamiento y 2 de comercio. Las principales actividades recreativas que se desarrollan dentro del parque son: natación, buceo libre y autónomo, recorridos en Kayak, senderismo, avistamiento de aves y pesca deportiva, ésta última se realiza por fuera del polígono del parque pero es promovida por las empresas de servicio turísticas locales (Gámez, 2008).



Figura 1. Ubicación del Parque Nacional de Cabo Pulmo, Baja California Sur, México

Debido a su belleza natural y a la cercanía que tiene con el Corredor Turístico de Los Cabos, Cabo Pulmo tiene un potencial de desarrollo turístico muy alto. En los últimos años existieron dos proyectos para el desarrollo de centros turísticos integralmente planeados, los cuales se construirían en las inmediaciones de Cabo Pulmo; se trató de los proyectos de Cabo Cortés y Cabo Ribera, pero debido a la presión social estos proyectos no fueron aprobados. Hay que recordar que existe una relación directa entre el desarrollo turístico y el deterioro costero, en particular cuando el desarrollo turístico no considera las necesidades ambientales y sociales del lugar (Ortiz-Lozano et al., 2005).

1.3 Actividades subacuáticas recreativas y el daño a los arrecifes coralinos

El buceo libre y autónomo son algunas de las actividades turísticas que se realizan en Cabo Pulmo que causan mayor impacto sobre el ecosistema arrecifal, debido a que afectan directamente a los corales hermatípicos, organismos fundamentales para la estructura de los EAr. Los buzos durante sus inmersiones pueden causar daño de manera accidental o deliberada a los corales. Se producen fracturas de una porción de la estructura coralina, lo que generalmente repercute en la muerte del tejido fragmentado. Se causa golpes o contactos, éstos se producen generalmente con las manos, consolas de buceo, tanques de aire y aletas, siendo las aletas la parte del equipo con la que generalmente se producen los golpes. Si bien no todos los golpes repercuten en la pérdida de tejido vivo, sí dejan expuesto a otro tipo de daño o enfermedades. Por último, se causa la remoción de sedimento producida generalmente con las aletas, lo que reduce la disponibilidad de la luz, la cual es indispensable para el proceso de fotosíntesis de las zooxantelas. Además el aumento de partículas disueltas producto de la remoción de sedimentos aumenta el gasto energético en el proceso de búsqueda de alimento de los pólipos. Todos estos daños y lesiones en forma combinada degradan al arrecife y afectan su resiliencia (Botello & Frejomil, 2009).

1.4 Aprovechamiento multiespecífico

El aprovechamiento y la gestión de los recursos naturales deben realizarse desde el punto de multiespecífico y no simplemente a nivel de especie o población, ya que el sistema es mucho más complejo que tan solo la suma de sus partes.

Para comprender cómo las actividades turísticas afectan un ecosistema primero se debe comprender la dinámica de dicho ecosistema. Existen tres maneras generales de estudiar a los ecosistemas: a través de los ciclos de la materia, mediante el flujo de energía considerando al ecosistema como un sistema biodinámico, o bien estudiando las cadenas tróficas. Los modelos de balance de masas son herramientas que nos permiten comprender la dinámica de un ecosistema mediante el flujo de energía, entendida como biomasa que fluye, a través de la trama trófica del sistema.

El presente trabajo simuló los posibles efectos de las actividades recreativas subacuáticas en el Ear de Cabo Pulmo, a través de un modelo de balance de masas. Se pretende con esto contribuir a la toma de decisiones sobre el manejo de esta área.

1. 5 Marco conceptual y antecedentes

Los Ecosistemas Arrecifales debido a su valor estético y paisajista, inspiran a ser visitados. No obstante, en ocasiones la visita a estos lugares no se realiza bajo las prácticas correctas, por consecuencia se produce una degradación del ecosistema. Sobre este punto existen varios estudios. Para el Mar Rojo se ha determinado el impacto del desarrollo turístico a corto y mediano plazo, así como la evaluación del efecto de las actividades turísticas recreativas, concluyendo que la mayoría de las practicas de buceo recreativo no son sustentables (Hawkins & Roberts, 1994; Zakai & Chadwick-Furman, 2002). En el caso del Caribe, se ha estudiado el impacto del buceo y desarrollo turístico (Diedrich, 2007; Hawkins et al., 1999) y para la Gran Barrera Coralina en Australia se ha realizado una evaluación completa del impacto del turismo.(Harriott, 2004). En general se han analizado las inadecuadas prácticas de buceo libre y autónomo (Botello & Frejomil, 2009; Krieger, 2012; Sarmiento & Santos, 2012), y el deterioro que genera el turismo por cruceros (Jones, 2011) para varios ecosistemas coralinos.

Las actividades recreativas subacuáticas son de las actividades recreativas más practicadas en Cabo Pulmo. Sin embargo, hasta el momento no existen trabajos que evalúen el impacto de dichas actividades en esta zona. Lo anterior resalta la importancia de construir un modelo de balance de masas para el EAr de Cabo Pulmo que permita evaluar el efecto de estas actividades.

Existen varios modelos de balance de masas para arrecifes coralinos, de hecho el primer modelo de balance de masas de la cadena trófica se diseñó para un EAr (Polovina, 1984). Otros modelos se refieren a trabajos en Indonesia sobre manejo de pesquerías (Ainsworth et al., 2008), en el Caribe mexicano (Alvarez-Hernández, 2003; Arias-González et al., 2004; Opitz, 1993; Pauly et al., 1993), otros más para Filipinas (Aliño et al., 1993). Además, existen otros trabajos sobre el manejo de camarón en la Gran Barrera coralina (Gribble, 2003), y en EAr de Taiwan para evaluar la sobre pesca (Liu et al., 2009).

Otros modelos de balance de masas que no son sobre ecosistemas arrecifales pero que son comparables al presente trabajo son los que se construyeron para el Golfo de California, la mayoría con enfoque pesquero (Arreguin-Sánchez et al., 2004; Díaz-Uribe et al., 2007; Lercari & Arreguín-Sánchez, 2009; Morales-Zárte et al., 2004).

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto Vulnerabilidad de los arrecifes coralinos de las costas mexicanas por efecto del cambio global y posibles consecuencias socio-ambientales (Fondo Sectorial CONACYT – SEMARNAT –INE Ref. 023390), cuyo objetivo general es estimar los posibles efectos que tendrían el incremento en la temperatura superficial del mar y de la presión parcial atmosférica de bióxido de carbono sobre los arrecifes coralinos de las costas mexicanas del Pacífico, como consecuencia del cambio global. Básicamente trata de identificar los factores físicos, biológicos y sociales que determinan la vulnerabilidad de los arrecifes coralinos, así como las consecuencias socio-ambientales que tendría la degradación de estos ecosistemas.

1.5 Hipótesis

El presente trabajo se basa en el supuesto de que el incremento en las actividades recreativas subacuáticas ocasionará un deterioro en el ecosistema a través de la pérdida de cobertura coralina de coral.

En consecuencia, las preguntas conductoras de esta investigación fueron:

- ¿La práctica de actividades recreativas subacuáticas tales como buceo libre y autónomo afectan a las comunidades coralinas por el daño físico que causan?
- ¿Este daño físico altera el flujo de materia y energía en el ecosistema arrecifal?
- ¿Hasta que punto es sustentable la práctica de buceo libre y autónomo?

1.6 Objetivos

1.6.1 Principal

Estimar el posible efecto que tendría el incremento de las actividades recreativas subacuáticas en nivel ecosistémico.

1.6.2 Específicos

- Construir un modelo de balance de masas para el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo.
- Definir los posibles escenarios derivados del incremento en la práctica de las actividades recreativas subacuáticas.
- Simular dichos escenarios y evaluar el cambio en la biomasa de los diferentes grupos funcionales.

2 Metodología

2.1 Área de estudio

2.1.1 Cabo Pulmo

En el Pacífico Mexicano se localizan tres regiones de comunidades coralinas: las del Golfo de California, las del Archipiélago de Revillagigedo y las del Pacífico Mexicano Tropical. En el Golfo de California es común encontrar parches de corales calcáreos, sin embargo, el único banco de corales zooxantelados que puede definirse verdaderamente como un Ecosistema Arrecifal Coralino es el de Cabo Pulmo (Reyes Bonilla, 2003).

Cabo Pulmo es el arrecife más septentrional del océano Pacífico, ubicado entre los 23° 22' 30" y los 23° 30' 00" latitud norte y los 109° 28' 03" y los 109° 23' 00" longitud oeste, en el municipio de Los Cabos, Baja California Sur, en una zona de transición entre el Pacífico templado y el Pacífico tropical (McClanahan et al., 2007).

En 1995 Cabo Pulmo fue declarado Área Natural Protegida (ANP). Gracias a este decreto se logró proteger una superficie de 7,111 ha, de las cuales el 99% se refieren a la porción marina (7,040 ha) y 1% (71 ha) a la zona terrestre. Al igual que otras ANP, posee una zona núcleo en la cual solo pueden realizarse actividades con fines de investigación y protección del parque, y zonas de amortiguamiento, en las cuales es posible realizar la pesca artesanal para consumo local y actividades recreativas de bajo impacto (fig. 2) (CONANP, 2006).

La parte marina del parque está dividida naturalmente en tres secciones: sección norte que se caracteriza por fondos arenosos, baja cobertura de coral y gran influencia temporal de agua dulce en verano y otoño; región centro, con grandes áreas de sustrato duro que soportan una alta cobertura de coral y sección sur, donde el movimiento de las aguas es bajo debido a la protección que le brinda Cabo Los Frailes (CONANP, 2006).

En el Parque Nacional Cabo Pulmo el centro de protección es el ecosistema arrecifal, este bioma abarca tan solo el 14% (0.9 km²) de la cobertura del parque, otro 20% (1.3 km²) está ocupado por parches coralinos, y el 66% (4.2 km²) se reviste por sedimentos de carbonatos y silicatos (Halfar et al., 2001). Es decir, 6,400 ha son sustrato blando (arena).

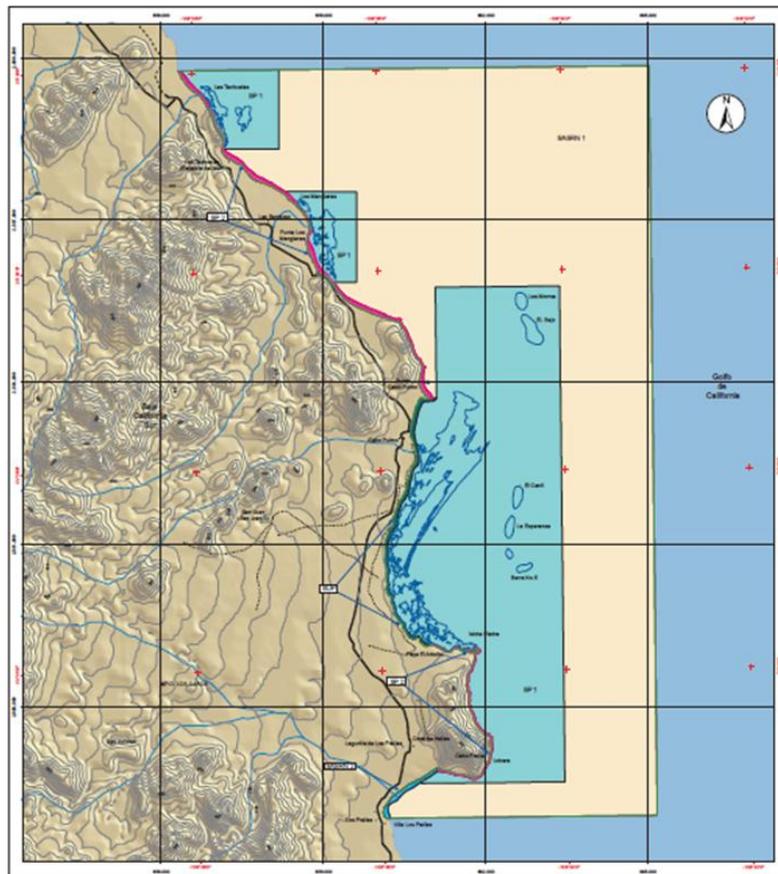


Figura 2. Zonificación del Parque Nacional Cabo Pulmo (CONANP, 2006). La línea verde delimita el parque nacional, la zona en color crema es la zona de amortiguamiento y los polígonos en azul claro son las zonas núcleo.

De manera general el agua dulce y superficies en la parte terrestre del Cabo Pulmo es escasa y limitada durante los meses de sequía (mayo-octubre), por lo que su aprovechamiento se hace en forma racional. El clima de la región es muy seco y cálido, con régimen de lluvias de verano y una precipitación invernal de aproximadamente el 10% del total anual (CONANP, 2006).

2.1.2 Condiciones Oceanográficas

La temperatura superficial en la región marítima de Cabo Pulmo presenta un promedio anual de 25 ± 0.95 °C; regionalmente se observa una clara tendencia de aumento hacia el este del parque, con un intervalo de 5°C aproximadamente desde la zona menos cálida (sur-oeste) hasta la más cálida (sur-este). Por su parte la clorofila muestra un

promedio anual de $0.46 \pm 0.1 \text{ mg/m}^3$, el valor es intermedio a nivel del Golfo de California, pero alto si se compara con el Pacífico Tropical Mexicano (fig. 3).

De manera local las concentraciones de clorofila van desde los 0.40 mg/m^3 hasta los 0.58 mg/m^3 (fig. 4), presentándose los valores más altos al sur-oeste y los menores al sur-este de PNCP. El valor promedio anual del coeficiente de extinción de luz es de $0.07 \pm 0.007 \text{ porm}$ y el de incidencia luminosa al 1% (límite de vida para un coral escleractinio) de $16.61 \pm 1.51 \text{ por m}$ (fig. 3). Todos los promedios anuales descritos anteriormente se obtuvieron para el periodo 1998 al 2010 (C. Mozqueda, comunicación personal¹). Un proceso local a resaltar es el fenómeno de surgencia que se presenta en el Cañon de los Frailes, el cual se origina por la batimetría de la zona, gracias a este proceso existe un aporte de nutrientes al ecosistema arrecifal. La salinidad permanece dentro de un intervalo de 34 ‰ y 35 ‰ , aunque se presenta un pico máximo de 38 ‰ durante el mes de junio, debido al aumento de la evaporación y las concentraciones de oxígeno son bajas (CONANP, 2006).

¹ Biól. Mar. Mónica Cecilia Mozqueda. Laboratorio de Sistemas Arrecifales, Universidad Autónoma de Baja

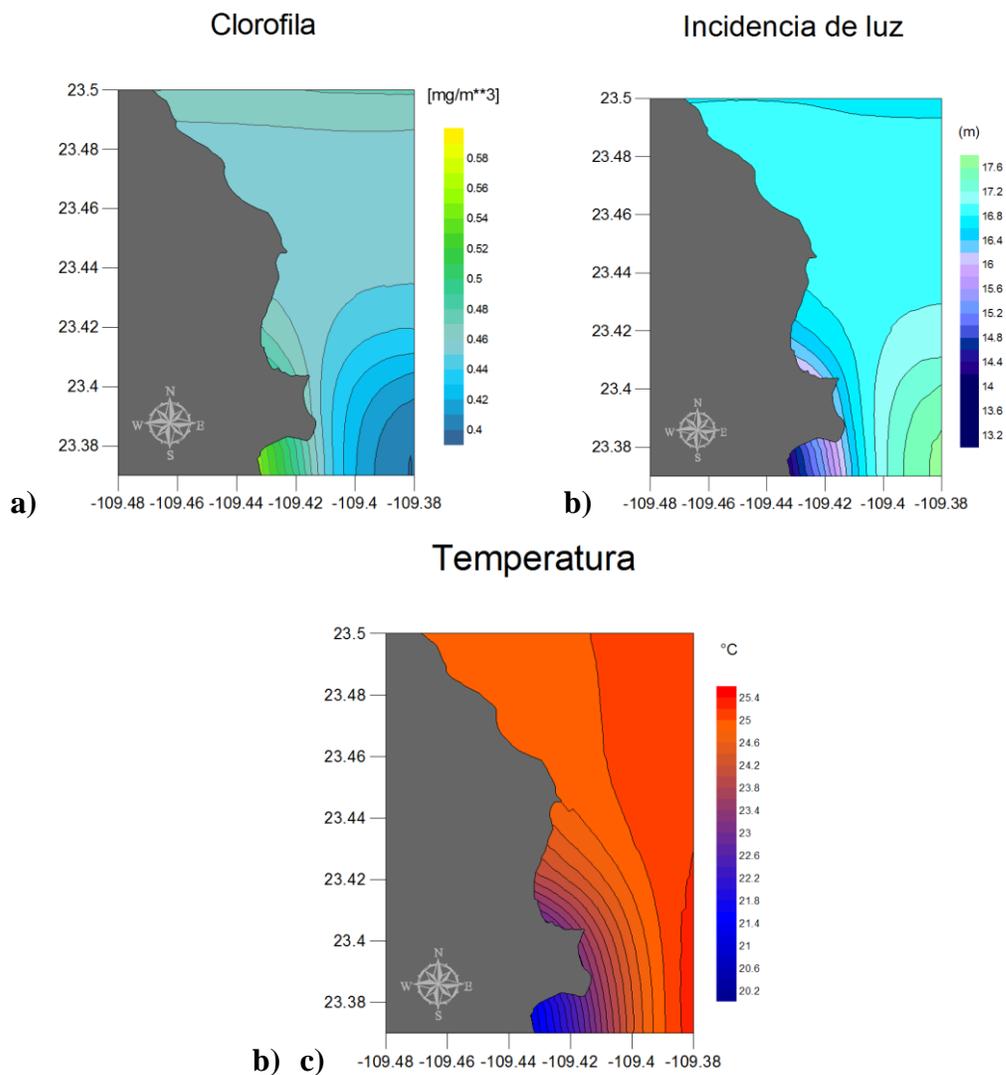


Figura 3 Condiciones oceanográficas promedio de 1998 a 2012 para el PNCP: a) concentración de clorofila, b) incidencia de luz y c) temperatura, cortesía de Cecilia Mozqueda.

Las corrientes marinas durante el verano y el otoño presentan una dirección hacia el norte, mientras que en el invierno y la primavera la dirección es hacia el sur. Las corrientes que se presentan en verano e invierno son las más fuertes, mientras que las de primavera y otoño son menos intensas. Las corrientes facilitan el transporte de materiales dentro de un arrecife coralino (Héctor Reyes-Bonilla, 1993; Reyes Bonilla, 1993). Por último esta zona esta expuesta a huracanes y a fenómenos de ENSO (Reyes-Bonilla et al., 2002).

2.1.3 Fauna y Flora

Los corales al igual que los peces son grupos claves para definir la estructura y funcionamiento de un EAr. En el PNCP se tiene registradas 13 especies de corales escleratinios. *Porites panamensis* es la especie de coral más abundante (Reyes-Bonilla et al., 1997; Reyes Bonilla & Calderón-Aguilera, 1994; Reyes Bonilla et al., 1995). De manera adicional se ha reportado fenómenos de blanqueamiento en esta zona (Bonilla, 2001; H. Reyes-Bonilla, 1993). Otros cnidarios identificados en Cabo Pulmo son el orden Gorgonacea, en el cual se han identificado 13 especies (Reyes-Bonilla, et al., 1997).

Los organismos mejor estudiados en el arrecife de CP son los peces, los cuales están representados por 236 especies, comprendidas en 60 familias (Villarreal-Cavazos et al., 2000). *Thalassoma lucasanum* y *Chromis atrilobata* son las especies dominantes (Alvarez Filip et al., 2006).

Los equinodermos son un taxon que ha cambiado su composición a través del tiempo. En los años 1940 se registraron 38 especies, sin embargo en los últimos años sólo se han registrado 25 especies (Cintra Buenrostro et al., 1998).

Los grupos de decápodos mejor estudiados son Braquiura y Anomura. Los cangrejos braquiuros habitan dentro de los corales *Pocillopora*, y se han identificado 30 especies de las cuales predomina *Trapezia ferruginea* (García-Madrigal & Bastida-Zavala, 1999). Los anomuros denominados cangrejos ermitaños están representados por 9 especies, siendo la más abundante *Megalobrachium tuberculipes* (García-Madrigal & Bastida-Zavala, 1999). Se reconoce a Cabo Pulmo como zona de anidación de *Lepidochelys olivacea* (López-Castro et al., 2004).

Se han identificado tres especies coralívoras, las cuales son clave para definir la estructura y funcionamiento del ecosistema, las especies son: *Eucidaris thouarsii* (Echinoidea), *Acanthaster planci* (Asteroidea) y *Arothron meleagris* (Teleosteo) (Reyes-Bonilla & Calderon-Aguilera, 1999). La ficoflora del EAr de Cabo Pulmo presenta una afinidad tropical y esta compuesta por 68 especies, entre las cuales las familias Corallinaceae y Ceramiaceae son las mejor representadas (Mateo-Cid et al., 2000; Reyna & Rodriguez, 1996). La literatura sobre flora y fauna aquí descrita nos ayudó a definir los Grupos Funcionales que conforman el modelo de la cadena trófica des Cabo Pulmo.

2.2 Modelos de balance de masas

Los modelos de balance de masas son modelos matemáticos basados en los principios de la Ley de la conservación de la materia y la energía, en la cual la materia y la energía que entra a un sistema deben de ser igual a la que sale del mismo, para un tiempo dado. Precisamente se les llama de balance de masas porque suponen que un sistema no puede consumir más de lo que produce. En este caso el sistema que se desea estudiar es un arrecife coralino, dentro del cual puede ocurrir una serie de procesos tales como, producción, consumo y acumulación de biomasa, pero siempre conservando el principio de conservación de la materia y energía, es decir en un ecosistema no se puede consumir más de lo que se produce (fig. 4). En el caso de los ecosistemas las fronteras del sistema se definen arbitrariamente.

Un sistema está constituido por varios componentes, llamados Grupos Funcionales (GF), los cuales son agrupaciones de organismos que se definen por la función que desarrollan dentro del ecosistema y no por su relación filogenética (Blondel, 2003).

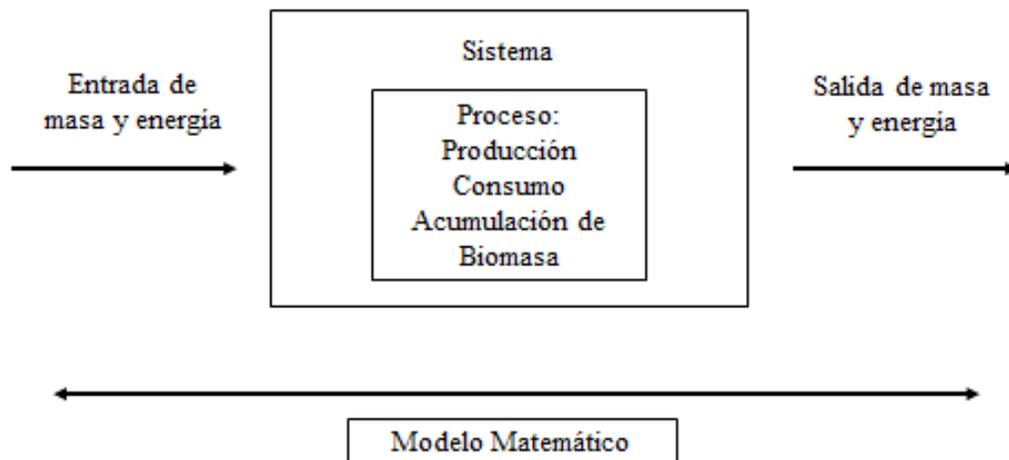


Figura 4 Esquema de un modelo de balance de masa y energía, para un sistema con múltiples procesos. La flecha en ambos sentidos indica que el modelo matemático representa el flujo tanto de entrada como de salida de masa y de todos los procesos que en él se desarrollan.

El programa computacional *Ecopath* diseñado en 1990 (Christensen & Pauly, 1992) permite construir modelos de balance de masas para la cadena trófica de un ecosistema en su estado “estable”, es decir aquel en el que las entradas y salidas de biomasa y energía del sistema son iguales durante un determinado tiempo. Además a partir de 1995 este programa cuenta con otro componente denominado *Ecosim*, el cual permite desarrollar simulaciones temporales del ecosistema, partiendo de un estado inicial en un tiempo cero a un estado final en un tiempo dado (Walters, 2000; Walters et al., 1997). Actualmente se manejan ambos componentes en el mismo paquete computacional denominado *Ecopath with Ecosim (EwE)* Ver. 6.0.

El programa *EwE* consiste en un sistema de ecuaciones lineales que representan a cada GF del ecosistema. Los parámetros de entrada para la construcción de un modelo son:

Símbolo	Significado	Unidad
B_i	Biomasa del grupo funcional (i)	(t/km ²)
$(P/B)_i$	Relación Producción/Biomasa para (i)	(año)
$(Q/B)_i$	Relación Consumo/Biomasa para el GF (i)	(año)
DC_{ji}	Composición Dieta, fracción de la dieta del depredador (j) con la que contribuye la presa (i)	(adimensional)
Y_i	Tasa de Pesca total sobre el GF (i)	(t/km ² /año)
EE_i	Eficiencia Ecotrófica del grupo (i)	(adimensional)

La Eficiencia Ecotrófica, se define como la proporción de la producción del GF (i) que es utilizada en el sistema (Kozlovsky, 1968) y por definición presenta valores entre cero (teóricamente depredadores tope) y uno que corresponde a los productores primarios. Considerando el estado estable del modelo y obedeciendo a la Ley de la Conservación de la masa y la energía, la Producción del GF (i) es igual al consumo de (i), por lo tanto la ecuación básica de *Ecopath* es:

$$\text{Producción } (i) - \text{Consumo } (i) - \text{Exportación del Ecosistema } (i) = 0$$

Lo que se describe mejor en la siguiente ecuación:

$$(P_i - M O_i) - (B_i \times M 2_i) - (EX_i) = 0 \quad (1)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
P_i	Tasa total de producción del grupo funcional (i)	(t/km ² /año)
$M O_i$	Tasa instantánea de “otra mortalidad” para el GF (i)	(año ⁻¹)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)
$M 2_i$	Tasa instantánea de depredación para el GF (i)	(año ⁻¹)
EX_i	Exportación total del grupo (i) fuera del ecosistema	(t/km ² /año)

La tasa de producción total (P_i) se expresa como:

$$P_i = B_i (P/B)_i \quad (2)$$

Donde:

$(P/B)_i$ es la proporción de la tasa de producción total para la biomasa del GF (i) y esta relación es igual a la tasa instantánea de mortalidad total (Z), en condiciones de equilibrio para un tiempo dado (Allen, 1971).

Las otras causas de mortalidad del GF (i) que son independientes a la pesca y a la muerte por depredación, tales como muerte por enfermedad o por senescencia se denominan como $M O_i$ y se expresan como:

$$M O_i = B_i (P/B)_i (1 - EE_i) = P_i (1 - EE_i) \quad (3)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
$M O_i$	Tasa instantánea de “otra mortalidad” para el GF (i)	(año ⁻¹)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)
$(P/B)_i$	Relación Producción/Biomasa del grupo (i)	(año ⁻¹)
EE_i	Eficiencia Ecotrófica (i)	(adimensional)

La mortalidad del GF (i) debido a la depredación de todos los depredadores (j) se define como:

$$M2_i = \sum_{j=1}^n \frac{Q_j \times DC_{ji}}{B_i} \quad (4)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
$M2_i$	Tasa instantánea de depredación para el GF (i)	(año ⁻¹)
Q_j	Tasa de consumo total por el grupo del depredador (j)	(t/km ² /año)
DC_{ji}	Composición Dieta, fracción de la dieta del depredador (j) con la que contribuye la presa (i)	(adimensional)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)

La ecuación anterior, es crucial ya que permite construir la cadena trófica, al entrelazar al depredador (j) con la o las diferentes presas (i).

La Exportación total (EX_i) del grupo (i) fuera del ecosistema se calcula como:

$$EX_i = Y_i + E_i + BA_i \quad (5)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
Y_i	Tasa de Pesca total sobre el GF (i)	(t/km ² /año)
E_i	Tasa de migración neta (emigración-inmigración) para el grupo (i)	(t/km ² /año)
BA_i	Tasa de biomasa acumulada (crecimiento) para el GF (i)	(t/km ² /año)

Por otro lado, la ecuación principal con la que se diseñan las simulaciones en *Ecosim* es la siguiente 7;(Christensen & Walters, 2004):

$$\frac{dB_i}{dt} = g_i \sum_j Q_{ji} - \sum_j Q_{ij} + I_i - (M0_i + F_i + e_i) \times B_i \quad (6)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
dB_i/dt	Tasa de cambio de la biomasa del GF (i) durante un intervalo de tiempo dt	(t/km ² /año)
g_i	Eficiencia de crecimiento neto del grupo (i) es decir la relación (Producción/Consumo)	(adimensional)
Q_{ij}	Tasa de consumo del depredador (j) sobre la presa (i)	(año)
I_i	Tasa de inmigración de (i)	(t/km ² /año)
$M0_i$	Tasa de “otra mortalidad” para el GF (i)	(año)
F_i	Tasa de mortalidad por pesca del GF (i)	(año)
e_i	Tasa de emigración para (i)	(t/km ² /año)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)

Las dos sumatorias estiman las tasas de consumo, la primera el total del consumo del grupo i y la segunda la depredación de todos los depredadores sobre el mismo grupo i . Las tasas de consumo Q_{ij} se calculan en el concepto de “la arena del forrajeo” en la que B_i es dividido en componentes vulnerables e invulnerables (Walter et al 2007).

Para la construcción del modelo de balance de masas de la cadena trófica del ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo empleando el programa EwE , se siguió metodología propuesta por Christensen y colaboradores (Christensen et al., 2000) (fig. 5).

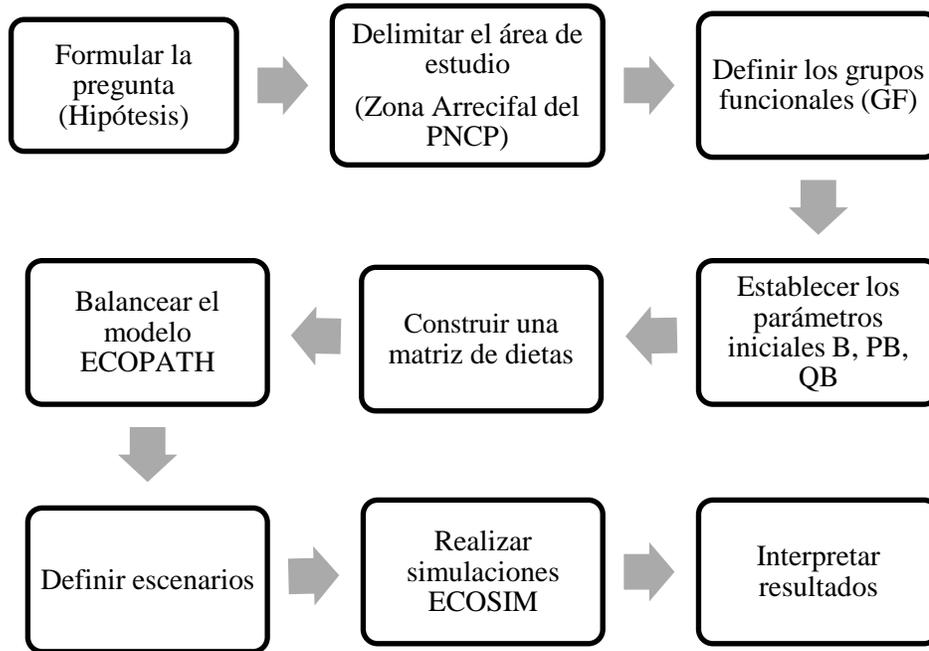


Figura 5 Esquema de la ruta crítica sugerida para la construcción de un modelo de balance de masas empleando *ECOPATH* y simulación de escenarios con *ECOSIM*.

2.2.1 Definición de Grupos Funcionales

Un paso crítico para la construcción del modelo fue la definición de los GF, ya que lo que se buscó fue contar con un número suficiente de GF para representaran lo mejor posible al ecosistema real, y aun así conservar la practicidad y funcionalidad del modelo, por lo cual se atendió la recomendación de los autores de *Ecopath* de que un modelo factible debe presentar entre 15 a 50 GF.

Las principales fuentes de información empleadas para determinar los organismos que están presentes en EAr de Cabo Pulmo fueron: revisión bibliográfica, (referirse a la sección de Flora y Fauna de CP del presente trabajo), la participación en cuatro visitas al sitio de estudio (2 en primavera y 2 en otoño del 2011) bajo la dirección del Lab. de Sistemas Arrecifales de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y un trabajo sobre la estructura trófica de la comunidad íctica en Bahía de los Frailes, Cabo

Pulmo (Moreno-Sánchez, 2009). En las visitas a la zona y con ayuda de los integrantes del laboratorio de la UABCS se desarrollo observación visual de los organismos, análisis de cobertura, censos de peces e invertebrados, así como obtención de valores de talla para algunos grupos principalmente Equinoidea, Crustacea y Mollusca. El porcentaje de cobertura coralina se determinó empleando transectos de banda de 20 m x 1 m, donde se evaluó la cobertura presente en un cuadrante de PVC de 1 m² dividido en 100 secciones de 10 cm² (Hill & Wilkinson, 2004). Los censos de peces e invertebrados se realizaron mediante transectos de banda de 25 m x 2 m. Posteriormente se delimitaron los GF, considerando las diferentes funciones que realizan los organismos dentro del ecosistema y empleando como referente otros modelos de balance de masas publicados para ecosistemas arrecifales.

2.2.1.1 Comunidad íctica

En el caso de la comunidad íctica se registraron 81 especies de peces en los censos del 2011, por lo cual para definir los GF de esta comunidad se emplearon dos criterios: el tipo de dieta y la talla máxima de los organismos; como proxy del tipo de dieta, se empleó el nivel trófico (NT) de la especie. El NT se agrupó en tres niveles y la Talla máxima en cinco, al combinar ambos criterios se obtuvieron 15 combinaciones diferentes, cada una correspondiente a un GF. Cada grupo funcional se nombró empleando el nombre de la especie que presentó la abundancia más alta en los censos del 2011 (apéndice I). Los valores tanto de NT como de talla máxima empleados para la agrupación se obtuvieron de Fishbase. En los censos no se observó ninguna especie que presentara un intervalo de talla máx. 121 a 275 cm y un intervalo de NT 3 a 3.5, por lo que no existe un GF con esa característica. Por practicidad, *Chanos chanos* que representaba un GF monoespecífico se reagrupó con el GF *Scarrus ghobban* con quien comparte el NT, aunque no así la talla. Finalmente el resultando del ejercicio de agrupación fueron 13 GF que conforman la comunidad íctica. Por otro lado, en el caso del GF Sardinas, no se registró ningún organismo de este grupo en los censos pero se ha identificado con anterioridad en la zona y

se reconoce su importancia trófica en el ecosistema de CP, por lo cual se incorpora en el trabajo (tabla 2).

Tabla 2 Combinación de NT y longitud máxima para la construcción de los GF de la comunidad íctica. Se indica el nombre del GF, asignado a la especie de mayor abundancia.

Nivel Trófico	Longitud máxima (cm)				
	13-28	29-40	41-61	62-126	121-275
2.0-2.5	<i>Chromis</i>	<i>Holacanthus</i>	<i>Prionurus</i>	<i>Scarus</i>	—
	<i>atrilobata</i>	<i>passer</i>	<i>punctatus</i>	<i>ghobban</i>	—
2.6-3.5	<i>Halichoeres</i>	<i>Thalassoma</i>	<i>Diodon</i>	<i>Bodianus</i>	—
	<i>dispilus</i>	<i>lucasanum</i>	<i>holacanthus</i>	<i>diplotaenia</i>	—
3.6-4.5	<i>Cirrhitichthys</i>	<i>Paranthias</i>	<i>Haemulon</i>	<i>Caranx</i>	<i>Fistularia</i>
	<i>oxycephalus</i>	<i>colonus</i>	<i>sexfasciatum</i>	<i>sexfasciatus</i>	<i>commersonii</i>

Por último un GF que de acuerdo al enfoque de *Ecopath* debe de estar presente siempre en todos los modelos es el de Detritus, por lo cual aparece preestablecido en el programa. Finalmente recapitulando los GF de la comunidad íctica, así como el resto de organismos se definieron 34 GF: tres productores, 31 consumidores y un grupo de detritus (tabla 3).

Tabla 3 Grupos Funcionales con los que se construyó el modelo de balance de masas para el Ear de Cabo Pulmo, así como los diferentes taxa que conforman cada GF y las principales fuentes de información.

No.	GF	Taxa	Fuente
1	Tiburón y Rayas	<i>Carcharhinus limbatus</i> , <i>Carcharhinus. Leucas</i> , <i>Galeocerdo cuvier</i> , <i>Sphyrna lewini</i> , <i>Triaenodon obesus</i> , <i>Carcharhinus galapagensis</i> , <i>Negaprion brevirostris</i> , <i>Myliobatis californica</i>	a
2	Delfines	<i>Tursiops truncatus</i> , <i>Stenella longirostris</i> , <i>Steno bredamensis</i>	b
3	Lobos marinos	<i>Zalophus californianus</i>	b
4	Aves marinas	<i>Larus livens</i> , <i>Larus hermannii</i> , <i>Pelacanus occidentalis</i> , <i>Sterna elegans</i> , <i>Sterna maxima</i>	b
5	Tortugas	<i>Lepidochelys olivacea</i>	c
6	Sardinias	<i>Sardinops sagax</i>	d
7	<i>Fistularia commersonii</i>	<i>Fistularia commersonii</i> , <i>Gymnomuraena zebra</i> , <i>Gymnothorax castaneus</i> , <i>Lutjanus novemfasciatus</i> , <i>Mycteroperca jordani</i> , <i>Seriola lalandi</i>	e
8	<i>Caranx sexfasciatus</i>	<i>Caranx sexfasciatus</i> , <i>Caranx caballus</i> , <i>Lutjanus argentiventris</i> , <i>Elops affinis</i> , <i>Mycteroperca rosacea</i> , <i>Caranx melampyus</i> ,	e
9	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	<i>Haemulon sexfasciatum</i> , <i>Cirrhitis rivulatus</i> , <i>Epinephelus labriformis</i> , <i>Trachinotus rhodopus</i>	e
10	<i>Paranthias colonus</i>	<i>Cephalopholis panamensis</i> , <i>Lutjanus viridis</i> , <i>Haemulon maculicauda</i> , <i>Haemulon scudderi</i> , <i>Paranthias colonus</i>	e
11	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i> , <i>Plagiotremus azaleus</i> , <i>Thalassoma grammaticum</i>	e
12	<i>Bodianus diplotaenia</i>	<i>Bodianus diplotaenia</i> , <i>Lutjanus guttatus</i> , <i>Diodon hystrix</i> , <i>Hoplopagrus guentherii</i> , <i>Pseudobalistes naufragium</i>	e
13	<i>Diodon holocanthus</i>	<i>Scorpaena mystes</i> , <i>Pomacanthus zonipectus</i> , <i>Anisotremus interruptus</i> , <i>Urobatis concentricus</i> , <i>Diodon holocanthus</i> , <i>Calamus brachysomus</i> , <i>Muraena lentiginosa</i>	e

No.	GF	Taxa	Fuente
14	<i>Thalassoma lucasanum</i>	<i>Novaculichthys taeniourus</i> , <i>Alphestes immaculatus</i> , <i>Anisotremus taeniatus</i> , <i>Thalassoma lucasanum</i> , <i>Mulloidichthys dentatus</i> , <i>Halichoeres nicholsi</i> , <i>Arothron meleagris</i> , <i>Sufflamen verres</i>	e
15	<i>Halichoeres dispilus</i>	<i>Elacatinus puncticulatus</i> , <i>Acanthemblemaria crockeri</i> , <i>Malacoctenus zonifer</i> , <i>Canthigaster punctatissima</i> , <i>Chromis limbaughi</i> , <i>Myripristis leiognathos</i> , <i>Serranus psitacinus</i> , <i>Halichoeres chierchiae</i> , <i>Halichoeres dispilus</i> , <i>Halichoeres notospilus</i> , <i>Rypticus bicolor</i>	e
16	<i>Scarus ghobban</i>	<i>Scarus rubroviolaceus</i> , <i>Acanthurus xanthopterus</i> , <i>Balistes polylepis</i> , <i>Scarus perrico</i> , <i>Scarus ghobban</i> , <i>Aluterus scriptus</i>	e
17	<i>Prionurus punctatus</i>	<i>Kyphosus analogus</i> , <i>Girella simplicidens</i> , <i>Calotomus carolinus</i> , <i>Prionurus punctatus</i> , <i>Scarus compressus</i>	e
18	<i>Holacanthus passer</i>	<i>Microspathodon dorsalis</i> , <i>Prionurus laticlavus</i> , <i>Holacanthus passer</i> , <i>Kyphosus elegans</i>	e
19	<i>Chromis atrilobata</i>	<i>Stegastes rectrifaenum</i> , <i>Chromis atrilobata</i> , <i>Stegastes flavilatus</i> , <i>Ophioblennius steindachneri</i> , <i>Abudefduf troschelii</i> , <i>Johnrandallia nigrirostris</i> , <i>Acanthurus nigricans</i> , <i>Zanclus cornutus</i> , <i>Chaetodon humeralis</i> , <i>Acanthurus triostegus</i>	e
20	Cefalópodos	Pulpo, Calamar	f
21	Erizos	<i>Eucidaris thouarsi</i> , <i>Tripneustes depressus</i> , <i>Toxopneustes roseus</i> , <i>Arbacia incisa</i> , <i>Diadema mexicana</i> , <i>Centrostephanus coronatus</i>	e
22	Estrellas	<i>Phataria unifascialis</i> , <i>Pharia pyramidata</i> , <i>Acanthaster plancii</i> ,	e
23	Crustáceos	Stomatopodos, Langosta, Brachiura (cangrejos y langosta)	e y f
24	Caracoles	<i>Strombus galeatus</i> , <i>Haliotis</i> sp., <i>Quitones</i> , <i>Conus</i> sp., <i>Hexaplex princeps</i>	e y f

No.	GF	Taxa	fuelle
25	Invertebrados bentónicos	Tunicados, Esponjas, Gorgonidos (<i>Lophogorgia sp.</i> , <i>Pacifigorgia sp.</i> , <i>Eugorgia sp.</i>), Microcrustaceos, Simpunculidos, Poliquetos	e y f
26	Opistobranquios	<i>Hypselodoris californiensis</i> , <i>Hypselodoris ghiselini</i>	e
27	Pepinos de mar	<i>Euapta godeoffrayi</i> , <i>Holoturia sp.</i> , <i>Isostichopus fuscus</i>	e
28	Bivalvos	<i>Pinctada mazatlanica</i> , <i>Ostrea sp.</i> , <i>Hyotissa hyotis</i> , <i>Spondylus calcifer</i>	e
29	Corales	<i>Pocillopora verrucosa</i> , <i>Pavona gigantea</i> , <i>Pocillopora meandrina</i> , <i>Pocillopora eydoxi</i> , <i>Pocillopora damicornis</i> , <i>Pavona clavus</i> , <i>Psamocora stellata</i> , <i>Pocillopora capitata</i> , <i>Pavona minuta</i>	e
30	Zooplancton	Copepoda, Chaetoganta, Salpas, Amphipoda	g
31	Alga roja (calcáreas)	Corallinaceae	h
32	Alga verdes	Clorophyta	h
33	Fitoplancton	Diatomeas	f
34	Detritus		Predeterminado por <i>Ecopath</i>

a) (Villarreal-Cavazos, et al., 2000)

b) (CONANP, 2006)

c) (López-Castro, et al., 2004)

d) (CONAPESCA, 2012)

e) Muestreo en campo 2011

f) (Moreno-Sánchez, 2009)

g) (Sánchez-Velasco et al., 2009)

h) (Mateo-Cid, et al., 2000)

2.2.2 Parámetros iniciales (B, P/B y Q/B)

La biomasa se estimó para cada grupo funcional; en el caso de los Tiburones y Rayas, Delfines, Lobos Marinos y Tortugas, la B se obtuvo al relacionar el número de individuos registrados para cada una de las especies que conforman el GF para el área de Cabo Pulmo (tabla 4), con el peso promedio reportado en la literatura para esas especies. En el caso de Aves marinas, Invertebrados bentónicos, se emplearon los datos de B reportada en otros modelos, procurando que los datos correspondieron a ecosistemas similares.

La biomasa de la comunidad íctica se obtuvo aplicando la ecuación:

$$W=a \cdot L^b$$

Donde:

W= Peso (g)
 L= Longitud total del organismo (cm)
 a y b = Coeficientes de crecimiento

Los coeficientes a y b se obtuvieron de la información reportada en FISHBASE y la longitud de los organismos de la información de los censos del 2011 (apéndice I).

En el caso de los GF de Erizos, Estrellas, Bivalvos, Caracoles y Pepinos de mar, debido a que la política de conservación que se aplica en Cabo Pulmo, no se permitió la extracción de organismos para ser pesados, la B se estimó mediante una comparación entre las tallas y pesos encontrados para estos grupos en la Bahía de La Paz durante un muestreo realizado en otoño del 2011 y las tallas encontradas en Cabo Pulmo a lo largo de los muestreos del 2011.

Los caracteres morfométricos para obtener las tallas de los organismos fueron: Erizo, la longitud del diámetro del organismo; Estrella, el largo del brazo cercano al madreporito; Bivalvo, la altura de la concha; Caracoles, el largo de la columnela y finalmente en Pepino de mar, longitud total del organismo. En la Bahía de la Paz los organismos fueron colectados, llevados subidos a la superficie y en una embarcación fueron pesados y medidos, posteriormente fueron regresados a su hábitat buscando perturbar lo menos posible al ecosistema.

En el caso de las sardinas, la Biomasa de este grupo se estimó empleando los datos de captura de *Sardinops sagax*, para el Golfo de California, y relacionando ese valor tan solo para el área de Cabo Pulmo.

La biomasa para el GF de Corales se estimó a partir de los criterios de que un metro cuadrado de superficie coralina tiene una biomasa viva corresponde a 933.2 g (Odum, 1956; Opitz, 1993). Posteriormente, este valor se extrapola para 0.9 km² que representan, el 14% de la extensión de ecosistema arrecifal presente en Cabo Pulmo,

Para estimar la biomasa del fitoplancton se colectaron en junio del 2012, diez muestras de 500 ml de agua fijadas con lugol para preservar el fitoplancton, posteriormente estas muestras fueron filtradas con un filtro con capacidad para retener todas las partículas de tamaño superior a 0,7 µm y mediante la técnica de pesado por diferencia se obtuvo el peso del fitoplancton. La biomasa para las Algas verdes y Algas rojas se determinó con un estudio de cobertura realizado en el 2008 para Cabo Pulmo y considerando algunos valores de la literatura. Para el GF de Detritus la biomasa se obtuvo del promedio de los valores registrados en otros modelos de balance de masas para ecosistemas arrecifales. Sin importar la técnica empleada para estimar la biomasa de cada grupo, la biomasa se reportó como peso húmedo en unidades de t/km².

Los valores de las relaciones P/B y Q/B empleados en el presente trabajo corresponden a valores reportados en la literatura de otros modelos de balance de masas para ecosistemas arrecifales, o para modelos cercanos al área de estudio. En el caso de la comunidad íctica los valores de PB se ponderaron en cada grupo considerando las abundancias las especies que conforma al grupo (tabla 4).

Tabla 4 Parámetros (B, PB y QB) para los 34 GF del modelo de Cabo Pulmo y sus principales referencias.

No	GF	B t/km ²	Fuente	P/B (año)	Fuente	Q/B (año)	Fuente
1	Tiburón y Rayas	0.68	f, m	0.24	l	4.90	l, g
2	Delfines	1.28	e	1.28	e	18.25	E
3	Lobos marinos	0.08	e	2.62	e,d,h,k	10.00	e,d,h,k
4	Aves marinas	0.93	e	0.93	e	10.38	E
5	Tortugas	0.43	j	0.20	l,b	3.50	l,b
6	Sardinias	16.00	INAPESCA	2.44	e	17.45	e,k
7	<i>Fistularia commersonnii</i>	6.60	talla-peso	2.60	f	3.26	f
8	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2.80	talla-peso	5.00	f	6.26	f
9	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	1.80	talla-peso	2.25	f	5.60	f
10	<i>Paranthias colonus</i>	0.98	talla-peso	0.88	f	9.44	f
11	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	1.00	talla-peso	5.70	f	17.65	f
12	<i>Bodianus diplotaenia</i>	2.20	talla-peso	3.00	f	5.35	f
13	<i>Diodon holocanthus</i>	4.50	talla-peso	2.30	f	3.00	f
14	<i>Thalassoma lucasanum</i>	3.60	talla-peso	7.00	f	9.17	f
15	<i>Halichoeres dispilus</i>	3.80	talla-peso	1.58	f	21.91	f
16	<i>Scarus ghobban</i>	0.91	talla-peso	0.89	f	16.45	f
17	<i>Prionurus punctatus</i>	1.20	talla-peso	1.80	f	20.31	f
18	<i>Holacanthus passer</i>	1.35	talla-peso	12.00	f	16.00	f
19	<i>Chromis atrilobata</i>	1.08	talla-peso	1.72	f	39.75	f
20	Cephalopodos	2.38	censos	23.00	k	29.00	k
21	Erizos	6.30	talla-peso	7.50	a	25.00	a

No	GF	B t/km ²	fuelle	P/B (año)	Fuente	Q/B (año)	Fuente
22	Estrellas	3.20	talla-peso	2.00	m	3.00	m
23	Crustaceos	5.50	censos	25.00	k	30.00	k
24	Caracoles	9.40	talla-peso	3.80	m	5.60	m
25	Invertebrados bentónicos	35.00	censos	5.00	a,b,g,h,l	9.00	a,b,g,h,l
26	Opistobranchia	1.50	censos	2.50	a	5.60	a
27	Pepinos de mar	0.03	talla-peso	4.45	a	22.24	a
28	Bivalvos	28.87	talla-peso	2.23	m	9.50	m
29	Corales	111.90	cobertura	1.09	o,,i	3.15	o,i
30	Zooplankton	50.00	a,b,d,e,f,g,h,k	20.00	a,b,d,e,g,h,i,m	150.00	a,b,d,e,g,h, ,m
31	Alga roja (calcareas)	10.00	cobertura	15.00	n	-	-
32	Alga verdes	15.00	cobertura	20.00	n	-	-
33	Fitoplancton	90.00	muestreo	119.00	a,b,c,d,e,g,h,,j,k,lm ,n,o	-	-
34	Detritus	51.00	a,b,c,d,e,g,h,,k,l,m ,n,o	-	-	-	-
A	(Aliño, et al., 1993)			i	(Liu, et al., 2009)		
B	(Alvarez-Hernández, 2003)			j	(López-Castro, et al., 2004)		
C	(Arias-González, et al., 2004)			k	(Morales-Zárate, et al., 2004)		
D	(Arreguin-Sánchez, et al., 2004)			l	(Opitz, 1993)		
E	(Díaz-Uribe, et al., 2007)			m	(Opitz, 1996)		
F	(Froese & Pauly, 2010)			n	(Ortiz, 2008)		
G	(Gribble, 2003)			o	(Pitcher et al., 2001)		
H	(Lercari & Arreguín-Sánchez, 2009)						

2.2.3 Matriz de dietas

La construcción de la matriz de dieta fue un paso clave para la construcción del modelo, ya que es el proceso que correlaciona al depredador con las diferentes presas, creando así la red trófica del ecosistema. En general la cadena trófica obedece a un control de tipo “Top-down” en el cual la comunidad íctica determina la estructura y funcionamiento del ecosistema(Arias-González, et al., 2004).

Las dietas de los grupos son el resultado de la búsqueda en literatura de los hábitos nutrimentales de las especies que conforman cada GF, además también se extrajeron las dietas de otros modelos de balance de masas.

En el caso de la comunidad íctica las dietas se obtuvieron de un estudio sobre la estructura y organización trófica de la comunidad íctica para el arrecife de los Frailes, el cual se localiza en la parte sur de Cabo Pulmo. Por lo cual se considera de alta confianza el uso de esas dietas. De igual forma las dietas fueron ponderadas considerando la abundancia de las especies. La sumatoria de las fracciones de dieta para cada grupo debe de ser igual a 1. La matriz de dieta se encuentra en extenso en el apéndice II.

2.2.4 Balanceo del modelo

Dentro del programa computacional *EwE* Ver. 6.1 y dentro del componente *Ecopath*, se definió el área del modelo (0.9 km^2), así como las unidades de tiempo (anual) y biomasa (tkm^2) con las que se desean trabajar. Posteriormente se introdujeron los grupos funcionales así como su función principal (productor, consumidor o detritus), a continuación se ingresaron los parámetros de B, PB y QB, seguidos de la matriz de dieta verificando que la suma de las fracciones de dieta para cada GF sean igual a 1. Además se aplicaron los criterios sugeridos para el balanceo del modelo (Christensen, et al., 2000), los cuales son: mantener el canibalismo por debajo del 2% de la dieta y comenzar el modelo un valor inicial de vulnerabilidad para la presa de 20.

Para validar el modelo se verificó que el valor calculado de la eficiencia ecotrófica de los diferentes grupos funcionales estuviera entre cero y uno. Esto es un valor superior a uno indicaría que el GF tiene un déficit de biomasa, ya que la biomasa consumida por depredación es superior a la producida. De manera general los GF de productores presentan una EE con valores cercanos a 1, mientras que los GF de los depredadores tope tiene una EE cercana a 0, lo que nos da una idea de la energía en forma de biomasa que aporta cada GF al sistema.

Si bien los datos con los que se construyó el modelo son de alta confiabilidad, sobre todo aquellos provenientes del trabajo en campo, ya que fueron obtenidos por personal capacitado, al ingresar todos los valores se observó un desajuste en los GF correspondientes

a los invertebrados y no fue posible balancear el modelo. Muy posiblemente debido a que el ecosistema arrecifal no es un sistema aislado y existe un flujo importante de biomasa con los sistemas aledaño, por lo cual se observó un déficit de biomasa en algunos grupos funcionales. Tomando en cuenta la situación anterior se procedió a hacer un ajuste de manera manual, aumentando la biomasa de algunos grupos; este reajuste se realizó obedeciendo a principios biológicos y ecológicos. Con los ajustes anteriores fue posible obtener un modelo balanceado que nos permitiera realizar las simulaciones. Una vez obtenidos los valores de Biomasa, provenientes de las diferentes simulaciones se realizó un reajuste empleando los valores del modelo original.

Una particularidad del modelo de Cabo Pulmo es que debido a ser un área protegida que se rige bajo la política de “no pesca” no existe información de tipo pesquera (cargas, descargas, número de embarcación, descartes, etc.) que puedan enriquecer el trabajo.

2.2.5 Simulaciones

Los posibles escenarios del incremento en la práctica de actividades recreativas subacuáticas en Cabo Pulmo se definieron con base en la información generada por Alexandra Álvarez (comunicación personal²). Ella observó que 136 buzos provocan 213 contactos, y que el 28% de estos contactos afectan directamente a la estructura coralina. Para la simulación de los escenarios se estableció arbitrariamente que cada 10 contactos ejercidos al coral repercuten en la pérdida del 0.001% de cobertura coralina. Se construyeron cuatro escenarios, cada uno con diferente número de buzos y con sus correspondientes tasas de pérdida de cobertura. Escenario I corresponde al número de buzos registrados en el 2011 para CaboPulmo, conforme al trabajo de Álvarez del Castillo, el cual corresponde a 8638 buzos. El escenario II considera el valor de capacidad de carga reportado para el Área de protección de Flora y Fauna Cabo San Lucas, BCS. El escenario III es el valor de capacidad de carga física del trabajo anteriormente mencionado. El escenario IV se construye con el valor de la capacidad de carga anual para el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintan Roo. Por ultimo con el fin de tener un punto extremo en cuanto al número de buzos en la zona, se considera un V escenario el cual se

² Biól. Mar. Alexandra Álvarez. Laboratorio de Sistemas Arrecifales, UABCS, La Paz, BCS.

basa en el número de turistas reportados para el Corredor Turístico de Los Cabos en el 2005 (Reyes Bonilla et al., 2012)(tabla 5).

Tabla 5 Cuadro resumen de los cuatro diferentes escenarios sobre el posible incremento de las actividades recreativas subacuáticas en CP y el escenario extremo.

Escenario	No. buzos/año	No. de contactos al coral / año	% de pérdida de cobertura / año
I	8638	3788	0.4
II	22886	10036	1.0
III	152570	66906	6.7
IV	231397	101474	10.1
V	862422	378197	37.8

Cada escenario fue simulado empleando el componente *Ecosim* del programa *EwE*. El porcentaje de pérdida de cobertura coralina se introdujo al programa mediante la función “Mortalidad por pesca”, ya que fue la mejor forma de relacionar la pérdida de biomasa de un grupo con actividades antropogénicas. Las simulaciones se realizaron para un horizonte temporal de 20 años, tiempo suficiente para observar cambios en la biomasa de los GF. Una vez realizadas las simulaciones se obtuvieron nuevos valores de Biomasa para los diferentes GF. Estos valores se compararon con los valores iniciales con el fin de obtener la variación porcentual de cada grupo. Además, con el fin de obtener una serie de parámetros descriptores tróficos del ecosistema, se reintrodujeron los nuevos valores de biomasa y se parametrizo el modelo con los nuevos valores. Los descriptores tróficos que se obtuvieron fueron: flujo total de biomasa, consumo total del ecosistema, flujo de respiración total, flujo total de biomasa exportada y flujo total de detritus entre otros. El valor de estos descriptores fueron: comparados con los valores del modelo inicial, con el fin de identificar cambios tróficos a nivel ecosistémico.

3 Resultados

Los primeros resultados obtenidos del análisis de balance de masas son los valores de nivel trófico (NT), eficiencia ecotrófica (EE) y relación Producción / Consumo (P/Q) para cada grupo funcional (tabla 6). Estos parámetros nos ayudan a identificar los atributos tróficos de cada GF. El ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo presentó un NT promedio 2.81. El nivel trófico de los diferentes GF se distribuye en un intervalo 1 a 4.34, correspondiendo el valor más alto al GF Tiburón y Rayas. Por otro lado los GF de algas rojas, algas verdes, fitoplancton y detritus presentan valores de NT igual a 1. Debido a que el nivel trófico, depende de la dieta de los organismos y la composición de la dieta no fue modificada para los diferentes escenarios, el valor de NT de los GF fue el mismo bajo todos los escenarios. La relación Producción/Consumo (P/Q) se comporta generalmente de manera opuesta al NT, por lo cual observamos que GF como Tiburón y Rayas presenta una P/Q más baja que los invertebrados.

Por otro lado, la eficiencia ecotrófica (EE) presentó valores entre 0 y cercanos a 1. La EE es un buen indicador de la tasa de consumo de los GF, ya que entre más consumido sea un grupo el valor de la eficiencia ecotrófica tiende a uno y mientras menos consumido sea dicho grupo el valor tiende a cero. En el modelo inicial de la cadena trófica de Cabo Pulmo los GF que resultaron ser los más consumidos fueron Crustaceos (0.94), *Thalassoma lucasanum* (0.93), Estrella (0.92), Caracoles (0.91) y Sardinas (0.91), mientras que los que presentaron el menor consumo fueron los GF de Tiburones y Rayas, Delfines y Lobos marinos con valores de EE igual a cero, lo que nos indica que estos últimos grupos son los depredadores tope del sistema.

Tabla 6 Parámetros de salida para el modelo balanceado de la cadena trófica del EAr de Cabo Pulmo.

GF	NT	P/Q	EE
Tiburón y Rayas	4.36	0.05	0.00
Delfines	3.59	0.07	0.00
Lobos marinos	3.85	0.26	0.00
Aves marinas	3.34	0.09	0.06
Tortugas	3.16	0.06	0.40
Sardinias	2.31	0.14	0.91
<i>Fistularia commersonni</i>	4.38	0.80	0.14
<i>Caranx sexfasciatus</i>	4.11	0.80	0.36
<i>Haemulon sexfasciatum</i>	3.93	0.40	0.62
<i>Paranthias colonus</i>	3.69	0.09	0.58
<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	3.02	0.32	0.04
<i>Bodianus diplotaenia</i>	3.53	0.56	0.04
<i>Diodon holocanthus</i>	4.14	0.77	0.88
<i>Thalassoma lucasanum</i>	3.36	0.76	0.93
<i>Halichoeres dispilus</i>	3.62	0.07	0.43
<i>Scarus ghobban</i>	2.99	0.05	0.28
<i>Prionurus punctatus</i>	2.08	0.09	0.80
<i>Holacanthus passer</i>	2.28	0.75	0.67
<i>Chromis atrilobata</i>	2.82	0.04	0.60
Cephalopodos	3.83	0.76	0.10
Erizos	2.20	0.40	0.24
Estrellas	2.30	0.67	0.92
Crustaceos	3.08	0.78	0.94
Caracoles	2.26	0.68	0.91
Invertebrados bentónicos	2.31	0.56	0.82
Opisthobranchia	2.00	0.45	0.16
Pepinos de mar	2.00	0.20	0.00
Bivalvos	2.10	0.23	0.77
Corales	2.97	0.35	0.20
Zooplancton	2.02	0.13	0.72
Alga roja (calcáreas)	1.00	–	0.78
Alga verdes	1.00	–	0.78
Fitoplancton	1.00	–	0.74
Detritus	1.00	–	0.01

El esquema de la cadena trófica de Cabo Pulmo (fig. 6), fue una herramienta, que generó una visión holística de dicho ecosistema. En el esquema cada GF es representado por un círculo, cuyo tamaño es proporcional a la biomasa del grupo; además los GF se ubican dependiendo el valor de nivel trófico presenten. El esquema muestra que existe una alta cantidad de interacciones tróficas entre los grupos funcionales con NT intermedios, como es el caso de los grupos de la comunidad íctica. Por otro lado reconocemos que los GF con nivel trófico alrededor de uno presentan los valores más altos en biomasa. De igual forma el esquema permite relacionar fácilmente al depredador con sus múltiples presas, lo cual facilitó el análisis posterior de los cambios de biomasa en los GF bajo las diferentes escenarios.

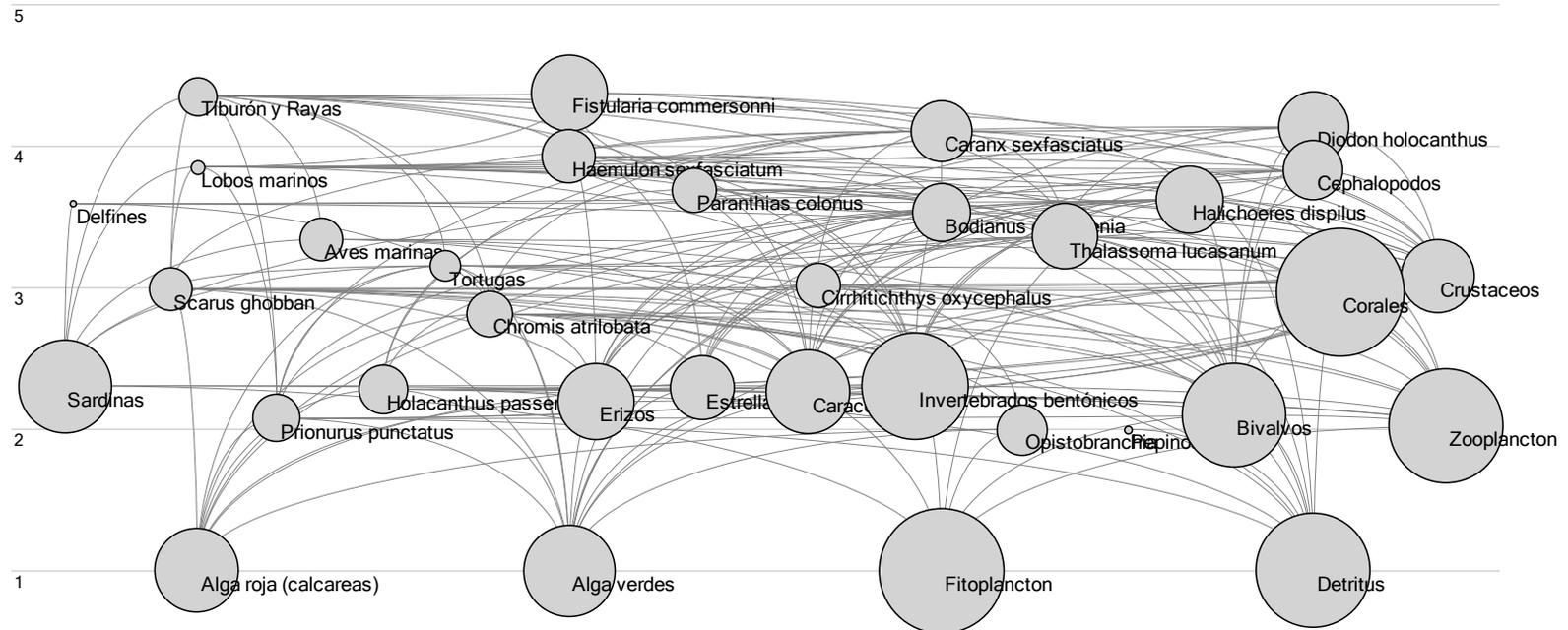


Figura 6 Esquema de la cadena trófica del EAr de Cabo Pulmo, cada GF se ubica de acuerdo al NT, el tamaño de los círculos representa la biomasa de cada grupo.

Como resultado de las cuatro simulaciones sobre el incremento de las actividades de buceo libre y autónomo en Cabo Pulmo y con una proyección a 20 años, se observó que no todos los GF tienen el mismo comportamiento (tabla 7).

El GF Corales al cual se aplicó el incremento en su tasa de mortalidad como efecto del incremento de número de buzos y el contacto de éstos con los corales, fue el GF que presentó el mayor decremento en su biomasa con respecto al valor inicial, bajo los cuatro diferentes escenarios. Posterior a los Corales, el GF de *Scarus ghobban* también presentó una tendencia al decremento, muy posiblemente debido a su estrecha relación trófica con los Corales, ya que *Scarus ghobban* es un GF principalmente coralívoro. Otro grupo que presentó un decremento en su biomasa es el de Pepinos, el decremento en su biomasa resulta sorprendente ya que parece ser un grupo con cierta independencia trófica, ya que su fuente de alimento son los detritus y no presenta depredadores.

Por otro lado, otros GF muestran un incremento en su biomasa como resultado de las simulaciones, ejemplo de esto son los GF de: Alga roja (calcárea), *Chromis atrilobata* y Caracoles. Las Algas rojas son quienes presentan el mayor aumento de biomasa con respecto a su estado inicial, seguidos de *Chromis atrilobata* seguramente porque este grupo es consumidor de las Algas rojas; los Caracoles presentan también un incremento seguramente como consecuencia del incremento en el GF de algas verdes (fig. 10).

Además se observa que todas las simulaciones presentan los cambios de biomasa más abruptos durante los primeros 10 años de la simulación, posteriormente llegan a un valor estable, por lo cual se sugiere que en próximos trabajos las simulaciones se realicen con un proyección de 10 años.

De manera general se observó que el escenario I no produjo una alta variación en los valores porcentuales de la biomasa de los GF, los cambios en biomasa se incrementan conforme incrementa el número de buzos, de acuerdo a cada escenario, con lo cual el escenario IV fue el que presentó los cambios en los valores porcentuales más altos.

Tabla 7 Variación porcentual en la biomasa de cada GF con respecto a la biomasa inicial y bajo diferentes escenarios.

No.	GF	I	II	III	IV	V
1	Tiburón y Rayas	-0.03	-0.09	-0.63	-0.96	-4.30
2	Delfines	-0.03	-0.08	-0.56	-0.85	-3.61
3	Lobos marinos	-0.04	-0.11	-0.75	-1.14	-4.74
4	Aves marinas	-0.03	-0.07	-0.49	-0.75	-3.28
5	Tortugas	0.00	0.01	0.09	0.14	0.61
6	Sardinias	-0.03	-0.07	-0.50	-0.75	-3.25
7	<i>Fistularia commersonni</i>	-0.06	-0.16	-1.07	-1.61	-6.52
8	<i>Caranx sexfasciatus</i>	-0.03	-0.08	-0.57	-0.85	-3.51
9	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	-0.03	-0.08	-0.55	-0.84	-3.70
10	<i>Paranthias colonus</i>	0.03	0.07	0.48	0.73	3.49
11	<i>Cirrhichthys oxycephalus</i>	-0.04	-0.10	-0.63	-0.96	-4.21
12	<i>Bodianus diplotaenia</i>	-0.07	-0.19	-1.32	-1.99	-7.99
13	<i>Diodon holocanthus</i>	-0.02	-0.06	-0.41	-0.63	-2.98
14	<i>Thalassoma lucasanum</i>	-0.06	-0.15	-0.99	-1.49	-5.80
15	<i>Halichoeres dispilus</i>	-0.01	-0.03	-0.21	-0.31	-1.02
16	<i>Scarus ghobban</i>	-0.25	-0.65	-4.34	-6.48	-24.00
17	<i>Prionurus punctatus</i>	0.00	-0.01	-0.06	-0.10	-0.60
18	<i>Holacanthus passer</i>	0.01	0.03	0.21	0.31	0.96
19	<i>Chromis atrilobata</i>	0.04	0.11	0.77	1.18	5.49
20	Cephalopodos	-0.03	-0.07	-0.52	-0.80	-3.74
21	Erizos	-0.05	-0.14	-0.97	-1.44	-5.35
22	Estrellas	-0.10	-0.26	-1.74	-2.61	-9.83
23	Crustaceos	-0.02	-0.06	-0.44	-0.67	-3.06
24	Caracoles	0.03	0.07	0.46	0.69	2.82
25	Invertebrados bentónicos	-0.01	-0.03	-0.21	-0.31	-1.19
26	Opistobranchia	0.01	0.03	0.18	0.25	0.68
27	Pepinos de mar	-0.11	-0.26	-1.72	-2.62	-12.12
28	Bivalvos	-0.09	-0.23	-1.59	-2.43	-11.19
29	Corales	-0.29	-0.76	-5.27	-8.05	-36.98
30	Zooplancton	0.01	0.02	0.12	0.18	0.62
31	Alga roja (calcareas)	0.03	0.09	0.57	0.86	3.30
32	Alga verdes	0.01	0.03	0.17	0.26	0.97
33	Fitoplancton	-0.06	-0.17	-1.16	-1.77	-8.15
34	Detritus	-0.06	-0.13	-0.86	-1.31	-6.06

La eficiencia ecotrófica es un indicador de la confiabilidad del modelo, ya que ningún grupo funcional puede presentar valores de EE mayor o igual a uno, o menores de cero. Considerando lo anterior, el escenario V el cual se basa en el número de turistas registrados en el Corredor Turístico de Los Cabos es un escenario no confiable, debido a que el GF de Estrellas presenta un valor de EE igual a uno (tabla 8). Se descartó este escenario para futuros análisis de atributos tróficos a nivel ecosistémico.

El componente *Ecopath* del programa nos permitió obtener los principales atributos tróficos (tabla 9 y 10). Se aprecia que aquellos parámetros que están relacionados con la biomasa de los GF, se modificaron en cada escenario, pero aquellos atributos relacionados con la dieta se mantienen estables como es en caso del índice de conectancia, el cual nos indicó cuantas uniones tróficas reales existen considerando el valor teórico total, y que para todos los escenarios fue el mismo valor que el modelo inicial 19%.

Tabla 9 Principales descriptores tróficos para los diferentes modelos del EAr de CP.

Parámetro	Unidades	Inicial	I	II	III	IV
Consumo total	t/km ² /año	9543.92	9542.83	9541.04	9523.75	9512.93
Exportación total	t/km ² /año	5329.77	5323.48	5313.16	5214.40	5153.43
Flujo de respiración total	t/km ² /año	5830.23	5829.84	5829.21	5823.01	5819.05
Flujo de detritus total	t/km ² /año	5366.28	5359.93	5349.51	5249.83	5188.30
Suma total de flujos	t/km ² /año	26070.20	26056.09	26032.93	25810.99	25673.72
Producción total	t/km ² /año	12964.91	12957.75	12946.00	12833.40	12763.78
Producción Primaria Neta calculada	t/km ² /año	11160.00	11153.33	11142.37	11037.40	10972.48
Producción Primaria Total / Respiración Total	(adimensional)	1.91	1.91	1.91	1.90	1.89
Producción Primaria Total / Biomasa Total	(adimensional)	26.55	26.56	26.58	26.75	26.86
Biomasa Total / Suma total de flujos	(adimensional)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Biomasa Total (excluyendo detritus)	t km ²	420.30	419.88	419.19	412.55	408.46
Índice de Conectancia	(adimensional)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19

Tabla 10 Porcentaje de consume total, exportación total, flujo de respiración y flujo de detritus en relación a la suma total de flujos de biomasa, para los diferentes escenarios del incremento en las actividades de buceo en Cabo Pulmo.

Parámetro	Inicial	I	II	III	IV
Consumo total	36.6	36.6	36.6	36.9	37.1
Exportación total	20.4	20.4	20.4	20.2	20.1
Flujo de respiración total	22.4	22.4	22.4	22.6	22.7
Flujo de detritus total	20.6	20.6	20.5	20.3	20.2
Suma total de flujos	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

4 Discusiones

Los modelos tróficos de balance de masas se han convertido en útiles herramientas para tratar de dilucidar la estructura y función de los ecosistemas. Sin embargo hay que reconocer las limitantes de estos trabajos. Por ejemplo, los modelos de balance de masas publicados para ecosistemas arrecifales con excepción de trabajos en el Caribe (Opitz, 1993) en general se construyen con 12 o 13 grupos funcionales (GF), lo cual reduce la visión del ecosistema. Además, aún y cuando tratan sobre zonas arrecifales, en pocos trabajos se incluyen GF para los corales tanto blandos como hermatípicos. El modelo de balance de masas diseñado para el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo se construyó con 34 GF, 30 de ellos consumidores, entre los cuales se encuentra 1 GF de corales y 4 GF para moluscos y 3 GF de Equinodermos; aunados a 3 GF de productores primarios y un GF detritus, por lo cual podemos asegurar que el modelo que se diseñó para CP tiene un acercamiento mayor con las funciones reales que se realizan en el ecosistema.

Por otro lado, para ampliar los alcances del modelo que se construyó en este trabajo, se sugiere ingresar niveles ontogénicos para los GF, en particular para la comunidad íctica, ya que como se sabe los ecosistemas arrecifales son zonas de crianza para muchos peces. También sería recomendable separar las dos funciones que realizan los corales zooxantelados, es decir tanto como productores cuando están en simbiosis con la zooxantelas y como consumidores, considerando al pólipo.

Uno de los parámetros principales para la construcción de un modelo de balance de masas es la biomasa de los GF. En el caso del modelo construido para CP la biomasa de los GF se obtuvo recopilando información de diferentes trabajos, lo cual implicó homogenizar diferentes unidades y métodos de muestreo, lo que posiblemente implica un sesgo en la información. No obstante, la biomasa de por lo menos 20 GF fue obtenida mediante trabajo en campo y diseñado para éste fin, en particular para los GF de la comunidad íctica, moluscos y equinodermos, lo que ofrece una alta confiabilidad a los datos. Si bien, la biomasa de algunos GF fue incrementada con el fin de balancear el modelo y esto decrece el realismo del mismo, las principales relaciones tróficas y tendencias prevalecen

manteniendo la factibilidad de modelo para realizar predicciones (Ainsworth, et al., 2008; Opitz, 1996).

Los valores de P/B y Q/B se extrajeron de otros modelos desarrollados para ecosistemas arrecifales. A nivel de especie estos índices son propiedades conservativas, por lo que no se espera que varíen significativamente de sitio en sitio, por lo la aplicación de estos valores en la construcción del modelo es confiable. Asimismo, la ponderación de estos índices en la comunidad íctica ofrece finura al modelo ya que se considera el efecto de la abundancia de cada especie.

Al igual que la biomasa, la matriz de dieta del modelo de balance de masas para la cadena trófica de CP se construyó recopilando información de diferentes fuentes. Sin embargo, ninguno de esos trabajos se realizó con el objetivo de diseñar un modelo de balance de masas, por lo cual el principal reto fue homogenizar todos los trabajos con el fin de construir una matriz de dietas para los propósitos del presente trabajo. Una de las principales problemáticas al homogenizar la información de las dietas fue la discrepancias en los métodos de muestreo lo cual repercute en la finura con la que describe la dieta de los organismos y esto su vez afecta la influencia trófica que presenta un GF en el modelo. Es decir, se encontraron trabajos que describen la dieta de una determinada especie, pero no todas las presas reportadas se encontraron en Cabo Pulmo.

Afortunadamente se contó con una dieta fina para la comunidad íctica, si bien los organismos colectados para describir las dietas no provienen de la zona de estudio, se colectaron en el lugar más próximo del cual se pueden colectar organismos (Los Frailes, BC), debido a que la normatividad de Cabo Pulmo prohíbe la extracción de organismos dentro del polígono del parque, aunque esto sirva a fines científicos y de conservación.

Para balancear el modelo de la cadena trófica de CP se realizaron algunas consideraciones, la principal fue trabajar con una vulnerabilidad de valor igual a 2 para los GF, la cual se considera intermedia. Esto con el fin de no predeterminar el comportamiento del ecosistema, ya que un valor de vulnerabilidad más baja describe a un ecosistema de tipo *botton-up* y una vulnerabilidad más alta (casi 6) se refiere a ecosistemas tipo *top-down* (Ainsworth, et al., 2008).

En el caso de las simulaciones de los diferentes escenarios de aumento de buzos a CP y su relación con el incremento en la tasa de mortalidad del GF Corales, las simulaciones ignoran variaciones en el comportamiento de los GF del tipo reproductivo, así como fluctuaciones ambientales como el ENSO o variaciones decadales las cuales pueden repercutir en la biomasa de los grupos.

Una consecuencia de ignorar este tipo de variaciones es que se tiene mayor incertidumbre en la tasa de pérdida de cobertura coralina, esto debido a que en varias ocasiones se ha registrado para Cabo Pulmo que los fenómenos ENSO están asociados a un proceso de blanqueamiento coralino, lo que aunado a la pérdida de cobertura coralina por actividades de recreativas subacuáticas, incrementaría el daño a las estructuras coralinas. (Pitcher, et al., 2001).

En el modelo inicial el GF que en términos de biomasa predomina es el de Corales. Por otro lado, al observar los cambios de biomasa en los diferentes GF se observa un notorio incremento en la biomasa de los grupos algales como resultado de la pérdida en la biomasa coralina. Este fenómeno puede sugerir un posible cambio de fase en el ecosistema (Done, 1992).

El programa *EwE* permitió calcular el Nivel Trófico para cada GF (tabla 6), los cuales se encontraron en un intervalo de 1 a 4.34, y un NT promedio para el ecosistema de 2.81. El NT más alto correspondió al GF Tiburón y Rayas, lo cual concuerda con valores reportados para los depredadores; por el otro lado, los GF de productores presentaron NT de 1 lo cual corresponde a organismos productores. Debido a que el NT, depende de la dieta de los organismos y la dieta no fue modificada para los diferentes escenarios, el valor de NT de los GF fue el mismo bajo todos los escenarios. La relación Producción/Consumo (P/Q) se comportó generalmente de manera opuesta al NT, por lo cual observamos que GF como Tiburón y Rayas presenta una P/Q más baja que los invertebrados.

La Eficiencia Ecotrófica presenta valores entre 0 y cercanos a 1, además es un buen indicador de la tasa de consumo de un organismo o GF, ya que entre más consumido sea un GF el valor de la EE tiende a 1 y entre menos consumido sea un grupo el valor se acerca a cero. De manera general el valor de EE disminuye conforme aumenta el NT del grupo, por lo cual los consumidores presentan valores de EE cercanos a 0, mientras que los

productores valores más cercanos a uno. En el modelo inicial de balance de masas construido para CP los GF que resultaron ser los más consumidos fueron Crustaceos (0.94), *Thalassoma lucasanum* (0.93), Estrella (0.92), Caracoles (0.91) y Sardinas (0.91), mientras que los que presentaron el menor consumo fueron los GF de Tiburones y Rayas, Delfines y Lobos marinos con valores de EE igual a cero, lo que nos indica que estos organismos son los depredadores tope del sistema (tabla 7).

De los principales atributos tróficos de un sistema (tabla 8) la suma total de flujos o *throughput* es la medida real del sistema (Ulanowicz, 1986), para el modelo inicial de CP este valor es de $26070.20 \text{ t}\cdot\text{km}^2 \cdot \text{año}$. Este valor va disminuyendo en cada escenario lo cual indica que el ecosistema se va reduciendo como efecto del incremento de la actividad de los buzos y su efecto en la cobertura coralina. En el modelo inicial de todo el flujo de biomasa o *throughput* el 36.6% de esa biomasa se destina al Consumo, 20.4 % es biomasa que se exporta del ecosistema, posiblemente esta biomasa es la que sustenta las pesquerías aledañas a CP, y el 22.36 % se destina a la respiración, 20.5% al aporte de detritus. Considerando el *throughput* como el 100% las proporciones del flujo trófico, las proporciones entre estos atributos no presentan una alta variación con respecto al modelo inicial.

La relación Producción Primaria Total / Respiración Total (PPT/R) nos puede indicar el estado de madurez de un ecosistema, ya que valores cercanos a 1 se consideran sistemas maduros (Odum, 1969). En el caso del modelo inicial para CP la relación PPT/R es de 1.9 lo indica que la PPT es mayor en un 90% a la respiración. Sin embargo hay que reconocer que los modelos *Ecopath* en general sobrestiman la relación PPT/R sobre todo cuando la comunidad bacteriana o recicladora esta pobremente descrita, como es el caso de nuestro modelo (Arias-González, et al., 2004).

Al comparar los descriptores tróficos obtenidos para el modelo de CP con valores publicados para otros EAr, así como para la bahía de La Paz (tabla 00), se observa que la fracción del Consumo para CP es la fracción más alta, al igual que en los casos de la bahía de La Paz (Arreguin-Sánchez, et al., 2004) y para el Caribe mexicano (Arias-González, et al., 2004) y en contraste a la zona del Chinchorro donde la mayor proporción del flujo trófico se designa al flujo de detritus (F. Rodríguez com. pers.).

La biomasa exportada bajo los diferentes escenarios representa alrededor de un 20%,; este valor puede variar tanto que para el caso del Golfo de California se calculó de un 58% (Díaz-Uribe, et al., 2007) y para Cueva de Tiburones del 45% (F. Rodríguez, com. pers.).

La respiración para CP representa alrededor del 22%, valores similares a los calculados para EAr del Caribe mexicano (Arias-González, et al., 2004), mientras que la Cueva de tiburones es la que presenta la mayor diferencia al ser la respiración tan solo el 2% del flujo total de biomasa (F. Rodríguez, com. Pers; Tabla 11).

De manera general, los estimadores tróficos indican que la estructura trófica de Cabo Pulmo está más relacionada con la bahía de La Paz que con otros EAr, aunque hay que considerar los supuestos con los que se construyeron los diferentes modelos. En el caso del modelo de la bahía de La Paz (Arreguin-Sánchez, et al., 2004), al ser una bahía el sistema considera mayor exportación de biomasa, en contraste al modelo de CP donde se busca concentrar los flujos de biomasa al área arrecifal.

El incremento de las actividades de buceo libre y autónomo tiende a afectar de manera negativa la estructura del ecosistema, si bien la tasa actual de visitantes ni el doble de los mismos repercute en la estructura del ecosistema. Sin embargo, llegar a los valores de número de visitantes propuesto en el plan de manejo implicaría el desbalance en el flujo de biomasa del ecosistema. Un factor para optimizar las simulaciones del incremento en el número de buzos permitidos, sería buscar verificar la tasa de mortalidad teórica propuesta para el GF de Corales en las simulaciones. Esto es, evaluar en campo la pérdida de cobertura de coral vivo efectivamente perdida por efecto del turismo subacuático.

Una ventaja de los modelos ecosistémico permiten tener una visión panorámica del ecosistema y detectar posibles huecos o falta de información sobre los GF o sobre el ecosistema en sí mismo, por lo cual un elemento clave para mejorar el modelo es incrementar el muestreo (Ainsworth, et al., 2008; Arias-González, et al., 2004).

Tabla 11 Porcentaje del Consumo, Exportación total, Respiración , Flujo de detritus en relación a la suma del total de flujos para diferentes Ear.

Parámetro	Inicial	I	II	B. de La Paz ^a	G. de California ^b	Boca-Paila ^c	
Consumo total	36.6	36.6	36.9	21.4	52.3	42.7	
Exportación total	20.4	20.4	20.2	28.8	1.6	7.9	
Flujo de respiración total	22.4	22.4	22.6	12.8	39.4	25.7	
Flujo de detritus total	20.6	20.6	20.3	37.0	6.7	23.7	
Suma total de flujos	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

Parámetro	Tampalam ^c	Mahahual ^c	La Caldera ^d	La Baliza ^d	El Colorado ^d	Chancay ^d	Cueva de Tiburones
Consumo total	40.6	41.3	4.9	7.2	17.1	6.3	4.3
Exportación total	7.5	7.0	45.1	43.0	30.3	43.0	45.5
Flujo de respiración total	24.8	25.2	3.2	4.5	11.3	4.1	2.9
Flujo de detritus total	27.1	26.6	46.9	45.3	41.3	46.5	47.3
Suma total de flujos	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

a	(Arreguin-Sánchez, et al., 2004)
b	(Díaz-Uribe, et al., 2007)
c	(Arias-González, et al., 2004)
d	(F. Rodríguez, com. pers.)

5 Conclusiones

- Las prácticas recreativas de buceo libre y autónomo pueden afectar a las comunidades coralinas. El grado de impacto de estas actividades dependerá de la magnitud del daño físico que los buzos ocasionen a la cobertura coralina.
- El flujo de materia en el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo se puede afectar por el daño físico producido por las actividades subacuáticas recreativas, en caso de que este daño supere la capacidad de amortiguamiento del ecosistema.
- Al disminuir la cobertura coralina del ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo no todos los grupos funcionales tienen la misma respuesta; de manera general, la biomasa de la comunidad íctica se reduce, y la biomasa de los grupos funcionales algales se incrementa.
- Actualmente las actividades de buceo libre y autónomo desarrolladas en Cabo Pulmo no implican ninguna alteración en la estructura trófica del ecosistema. De hecho el sistema no mostraría cambios aparentes aún y cuando se permitieran 418 buzos por día. Sin embargo se recomienda limitar el número a no más de 67 buzos por día.
- Con el fin de mejorar los alcances del modelo trófico construido para el ecosistema arrecifal de CP se recomienda: realizar censos de depredadores tope dentro del ecosistema y así lograr tener una mejor estimación de la biomasa de estos grupos; asimismo, incluir un grupo funcional de microbiota y principalmente dividir el grupo funcional Corales en Corales productores (zooxantelas) y Corales consumidores.

Referencias bibliográficas

- Aburto-Oropeza, O., Erisman, B., Galland, G. R., Mascareñas-Osorio, I., Sala, E., & Ezcurra, E. (2011). Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. *PloS one*, 6(8), e23601.
- Ainsworth, C., Varkey, D., & Pitcher, T. (2008). Ecosystem simulations supporting ecosystem-based fisheries management in the Coral Triangle, Indonesia. *Ecological modelling*, 214(2), 361-374.
- Aliño, P., McManus, L., McManus, J., Nanola Jr, C., Fortes, M., Trono Jr, G., & Jacinto, G. (1993). *Initial parameter estimations of a coral reef flat ecosystem in Bolinao, Pangasinan, Northwestern Philippines*. Presentado en Trophic models of aquatic ecosystems.
- Alvarez-Hernández, J. H. (2003). Trophic Model of a Fringing Coral Reef in the Southern Mexican Caribbean [Modelo Trófico para un Arrecife de Coral de Tipo Borde-Barrera en. *Fisheries Centre Research Reports*, 11(6).
- Alvarez Filip, L., Reyes Bonilla, H., & Calderon Aguilera, L. E. (2006). Community structure of fishes in Cabo Pulmo reef, Gulf of California. *MARINE ECOLOGY*, 27(3), 253-262.
- Allen, R. R. (1971). Relation between production and biomass. *Fish. Res. Board Can*, 28, 1573-1581.
- Arias-González, J. E., Nuñez-Lara, E., González-Salas, C., & Galzin, R. (2004). Trophic models for investigation of fishing effect on coral reef ecosystems. *Ecological modelling*, 172(2), 197-212.
- Arreguin-Sánchez, F., Hernández-Herrera, A., Ramirez-Rodríguez, M., & Pérez-España, H. (2004). Optimal management scenarios for the artisanal fisheries in the ecosystem of La Paz Bay, Baja California Sur, Mexico. *Ecological modelling*, 172(2), 373-382.
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nystrom, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. [10.1038/nature02691]. *Nature*, 429(6994), 827-833.
- Björk, M., Mohammed, S. M., Björklund, M., & Semesi, A. (1995). Coralline Algae, Important Coral-Reef Builders Threatened by Pollution. *Ambio*, 24(7/8), 502-505.
- Blondel, J. (2003). Guilds or functional groups: does it matter? *Oikos*, 100(2), 223-231.

- Bonilla, H. R. (2001). Effects of the 1997/1998 El Niño/Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 69(1), 251-266.
- Botello, L. C. S., & Frejomil, E. P. (2009). Impacto ambiental del turismo de buceo en arrecifes de coral. *Cuadernos de turismo*(24), 207-227.
- Carpenter, K. E., Abrar, M., Aeby, G., Aronson, R. B., Banks, S., Bruckner, A., . . . DeVantier, L. (2008). One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science*, 321(5888), 560-563.
- Cintra Buenrostro, C. E., Reyes Bonilla, H., & Arizpe Covarrubias, O. (1998). Los equinodermos (Echinodermata) del arrecife de Cabo Pulmo, Pacífico de México. *Revista de Biología Tropical*, 46(2), 341-344.
- Programa de Manejo del Parque Nacional de Cabo Pulmo (2006).
- CONAPESCA. (2012). Anuario Estadístico de Pesca 2011 Consultado el 12 de septiembre de 2012, disponible en http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Christensen, V., & Pauly, D. (1992). ECOPATH II — a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61(3-4), 169-185. doi: 10.1016/0304-3800(92)90016-8
- Christensen, V., & Walters, C. J. (2004). Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling*, 172(2-4), 109-139. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.09.003
- Christensen, V., Walters, C. J., & Pauly, D. (2000). Ecopath with Ecosim: a user's guide. *University of British Columbia, Fisheries Centre, Vancouver, Canada and ICLARM, Penang, Malaysia*, 131.
- Díaz-Uribe, J. G., Arreguín-Sánchez, F., & Cisneros-Mata, M. A. (2007). Multispecies perspective for small-scale fisheries management: A trophic analysis of La Paz Bay in the Gulf of California, Mexico. *Ecological modelling*, 201(2), 205-222.
- Diedrich, A. (2007). The impacts of tourism on coral reef conservation awareness and support in coastal communities in Belize. *Coral Reefs*, 26(4), 985-985-996. doi: 10.1007/s00338-007-0224-z

- Done, T. J. (1992). Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia*, 247(1), 121-132. doi: 10.1007/bf00008211
- Dubinsky, Z. V. Y., & Stambler, N. (1996). Marine pollution and coral reefs. *Global Change Biology*, 2(6), 511-526. doi: 10.1111/j.1365-2486.1996.tb00064.x
- Fox, H. E., & Caldwell, R. L. (2006). Recovery from blast fishing on coral reefs: a tale of two scales. *Ecological Applications*, 16(5), 1631-1635.
- Froese, R., & Pauly, D. (2010). FishBase www.fishbase.org: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Gámez, A. E. (Ed.). (2008). *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo*. La Paz: San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- García-Madrigal, M. S., & Bastida-Zavala, J. R. (1999). Cangrejos braquiuros (Brachyura) del arrecife de Cabo Pulmo-Los Frailes y alrededores, Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 47(1-2), 123-132.
- Gribble, N. A. (2003). GBR-prawn: modelling ecosystem impacts of changes in fisheries management of the commercial prawn (shrimp) trawl fishery in the far northern Great Barrier Reef. *Fisheries Research*, 65(1-3), 493-506.
- Grigg, R. W. (1994). Effects of sewage discharge, fishing pressure and habitat complexity on coral ecosystems and reef fishes in Hawaii. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 103(1), 25-34.
- Halfar, J., Riegl, B., & Godinez, L. (2001). *Acoustic mapping and sediment composition of the northernmost east pacific coral reef at Cabo Pulmo, Mexico* Washington DC: American Geophysical Union.
- Harriott, V. J. (2004). Marine tourism impacts on the Great Barrier Reef. *Tourism in Marine Environments*, 1(1), 29-40.
- Hawkins, J. P., & Roberts, C. M. (1994). The growth of coastal tourism in the Red Sea: present and future effects on coral reefs. *Ambio*, 23(8), 503-508.
- Hawkins, J. P., Roberts, C. M., Van'T Hof, T., De Meyer, K., Tratalos, J., & Aldam, C. (1999). Effects of recreational scuba diving on Caribbean coral and fish communities. *Conservation Biology*, 13(4), 888-897.

- Herrera-Ulloa, Á. F., Lluch-Cota, S., Ramírez-Aguirre, H., Hernández-Vázquez, S., & Ortega-Rubio, A. (2003). Sustainable performance of the tourist industry in the state of Baja California sur, Mexico. *Interciencia*, 28(5), 268-272.
- Hill, J., & Wilkinson, C. (2004). Methods for ecological monitoring of coral reefs (pp. 123): Australian Institute of Marine Sciences.
- Holden, A. (2009). Tourism and Natural Resources. *The SAGE handbook of tourism studies*, 203.
- Jones, R. J. (2011). Environmental Effects of the Cruise Tourism Boom: Sediment Resuspension from Cruise Ships and the Possible Effects of Increased Turbidity and Sediment Deposition on Corals (Bermuda). *Bulletin of Marine Science*, 87(3), 659-679.
- Kleypas, J. A., McManus, J. W., & Meñez, L. A. B. (1999). Environmental Limits to Coral Reef Development: Where Do We Draw the Line? *American Zoologist*, 39(1), 146-159. doi: 10.1093/icb/39.1.146
- Knowlton, N., Brainard, R. E., Fisher, R., Moews, M., Plaisance, L., & Caley, M. J. (2010). Coral reef biodiversity. *Life in the World's Oceans: Diversity Distribution and Abundance*, 65-74.
- Kozlovsky, D. G. (1968). A critical evaluation of the trophic level concept. I. Ecological efficiencies. *Ecology*, 48-60.
- Krieger, J. R. (2012). *Diving tourism on coral reefs in Florida: Variation in recreational diver behavior and impacts on reef corals*. Auburn University.
- Lercari, D., & Arreguín-Sánchez, F. (2009). An ecosystem modelling approach to deriving viable harvest strategies for multispecies management of the Northern Gulf of California. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19(4), 384-397.
- Liu, P. J., Shao, K. T., Jan, R. Q., Fan, T. Y., Wong, S. L., Hwang, J. S., . . . Lin, H. J. (2009). A trophic model of fringing coral reefs in Nanwan Bay, southern Taiwan suggests overfishing. *Marine environmental research*, 68(3), 106-117.
- López-Castro, M., Carmona, R., & Nichols, W. (2004). Nesting characteristics of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) in Cabo Pulmo, southern Baja California. *Marine Biology*, 145(4), 811-820.
- López-López, Á., Cukier, J., & Sánchez-Crispín, Á. (2006). Segregation of tourist space in los cabos, Mexico. *Tourism Geographies*, 8(4), 359-379.

- López, Á. (2002). Análisis de los flujos turísticos en el corredor Los Cabos, Baja California Sur. *Investigaciones Geográficas*, 47, 131-149.
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Galicia García, C., & Huerta Múzquiz, L. (2000). Contribución al estudio de las algas marinas bentónicas de Punta Arena y Cabo Pulmo, Baja California Sur, México. *Acta Botanica Mexicana*(52), 55-73.
- McClanahan, T., Graham, N., Maina, J., Chabanet, P., Bruggemann, J., & Polunin, N. (2007). Influence of instantaneous variation on estimates of coral reef fish populations and communities. *Marine Ecology Progress Series*, 340, 221-234.
- McCook, L. J. (1999). Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 18(4), 357-367. doi: 10.1007/s003380050213
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215-233. doi: 10.1016/s0921-8009(99)00009-9
- Morales-Zárate, M., Arreguín-Sánchez, F., López-Martínez, J., & Lluch-Cota, S. (2004). Ecosystem trophic structure and energy flux in the Northern Gulf of California, México. *Ecological modelling*, 174(4), 331-345.
- Moreno-Sánchez, X. G. (2009). *Estructura y organización trófica de la ictiofauna del arrecife de Los Frailes, Baja California Sur, México*. Tesis de Doctorado, CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México.
- Mous, P., Pet-Soede, L., Erdmann, M., Cesar, H., Sadovy, Y., & Pet, J. (2000). Cyanide fishing on Indonesian coral reefs for the live food fish market-What is the problem. *Collected essays on the economics of coral reefs. Kalmar, Sweden: CORDIO, Kalmar University*, 69-76.
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. . *Science*, 104, 262-270.
- Odum, H. T. (1956). Primary production in flowing waters. *Limnology and oceanography*, 102-117.
- Opitz, S. (1993). *A quantitative model of the trophic interactions in a Caribbean coral reef ecosystem*. Presentado en Trophic models of aquatic ecosystems.
- Opitz, S. (1996). *Trophic interactions in Caribbean coral reefs* (Vol. 43): ICLARM.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V., & García-Salgado, M. (2005). Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 48(2), 161-176.

- Ortiz, M. (2008). Mass balanced and dynamic simulations of trophic models of kelp ecosystems near the Mejillones Peninsula of northern Chile (SE Pacific): Comparative network structure and assessment of harvest strategies. *Ecological modelling*, 216(1), 31-46.
- Pastorok, R. A., & Bilyard, G. R. (1985). Effects of sewage pollution on coral-reef communities. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 21(1), 175-189.
- Pauly, D., Sambilay Jr, V., & Opitz, S. (1993). Estimates of relative food consumption by fish and invertebrate populations, required for modelling the Bolinao reef ecosystem, Philippines. In V. Christensen & D. Pauly (Eds.), *Trophic models of aquatic ecosystems* (Vol. 26, pp. 236-251): ICLARM Conf. Proc.
- Pitcher, T. J., Buchary, E. A., & Sumalia, U. R. (2001). Spatial ecosystem simulation of no-take human-made reefs in marine protected areas: forecasting the costs and benefits in Hong Kong. *Fish. Cent. Res. Rep.*, 9(8), 146-170.
- Polovina, J. J. (1984). Model of a coral reef ecosystem. *Coral Reefs*, 3(1), 1-11.
- Propin Frejomil, E., & Sánchez Crispín, Á. (2007). Tipología de los destinos turísticos preferenciales en México. *Cuadernos de turismo*(19), 147-166.
- Reyes-Bonilla, H. (1993). 1987 Coral-Reef Bleaching at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 52(2), 832-837.
- Reyes-Bonilla, H. (1993). Biogeografía y Ecología de los Corales Hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico de México. *Biodiversidad Marina y Costera de México*, 207-222.
- Reyes-Bonilla, H., Carriquiry, J., Leyte-Morales, G., & Cupul-Magana, A. (2002). Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the Anti-El Niño event (1997-1999) on coral reefs of the western coast of Mexico. *Coral Reefs*, 21(4), 368-372.
- Reyes-Bonilla, H., Duarte, F. S., & Covarrubias, O. A. (1997). Gorgonians and stony corals (anthozoa: Gorgonacea and scleractinia) from cabo pulmo mexico. *Revista De Biología Tropical*, 45(4), 1439-1443.
- Reyes-Bonilla, H., & Calderon-Aguilera, L. E. (1999). Population density, distribution and consumption rates of three corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Marine ecology*, 20(3-4), 347-357.
- Reyes Bonilla, H. (1993). Corales Hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) de la Región de los Cabos, Baja california Sur. *Investigación Científica*, 4(1), 1-9.

- Reyes Bonilla, H. (2003). Coral reefs of the Pacific coast of México. in J. Cortés, ed. *Latin American coral reefs*. Elsevier, Amsterdam, 331-349.
- Reyes Bonilla, H., & Calderón-Aguilera, L. (1994). Parámetros poblacionales de *Porites panamensis* (Anthozoa: Scleractinia), en el arrecife de Cabo Pulmo, México. *Revista de Biología Tropical*, 42(1-2), 121-128.
- Reyes Bonilla, H., Cupul Magaña, A. L., Loreto Viruel, R. M., Álvarez del Castillo, P. A., Vázquez Vera, L., Torrejón Arellano, N., . . . González Espinoza, P. (2012). Evaluación de la capacidad de carga para buceo en áreas naturales protegidas del mar Caribe y el golfo de California, México. In A. Ivanova & R. Ibañez (Eds.), *Medio Ambiente y Política Turística en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Reyes Bonilla, H., Martínez Olguin, E., & Anaya Reyna, G. (1995). First record of *Madracis* sp. cf. *M. pharensis* (Heller, 1868) on continental eastern Pacific shores. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 94(2), 172-175.
- Reyna, G., & Rodríguez, R. (1996). Macroalgae of the coral reef of Cabo Pulmo Los Frailes, Southern Baja California, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 44(2B), 903-906.
- Roblez-Zavala, E. (2010). Vulnerabilidad de los arrecifes coralinos de las costas mexicanas por efecto del cambio global y posibles consecuencias socioambientales. Resultados del estudio económico (pp. 22): Universidad del Mar.
- Sánchez-Velasco, L., Lavín, M., Peguero-Icaza, M., León-Chávez, C., Contreras-Catala, F., Marinone, S., . . . Godínez, V. (2009). Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Continental Shelf Research*, 29(14), 1697-1710.
- Sarmiento, V. C., & Santos, P. J. P. (2012). Trampling on coral reefs: tourism effects on harpacticoid copepods. *Coral Reefs*, 31(1), 135-146. doi: 10.1007/s00338-011-0827-2
- Soria, E. G., Carranza, M. T. d. I. G., Rebollar, S. R., Martínez, J. H., & Salazar, J. A. G. (2011). Factores determinantes de la demanda internacional del turismo en México. *Revista Globalización, Competividad y Gobernabilidad*, 5(3), 30-49. doi: 10.3232/GCG.2011.V5.N3.02
- Szmant, A. (2002). Nutrient enrichment on coral reefs: Is it a major cause of coral reef decline? *Estuaries and Coasts*, 25(4), 743-766. doi: 10.1007/bf02804903

- Ulanowicz, R. E. (1986). *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*. Nueva York: Springer Verlag (reprinted by iUniverse, 2000),.
- Villarreal-Cavazos, A., Reyes-Bonilla, H., Bermúdez-Almada, B., & Arizpe-Covarrubias, O. (2000). Los peces del arrecife de Cabo Pulmo, Golfo de California, México: Lista sistemática y aspectos de abundancia y biogeografía. *Revista de Biología Tropical*, 48(2-3), 413-424.
- Walters, C. (2000). Impacts of dispersal, ecological interactions, and fishing effort dynamics on efficacy of marine protected areas: how large should protected areas be? *Bulletin of Marine Science*, 66(3), 745-757.
- Walters, C. J., Christensen, V., & Pauly, D. (1997). Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Rev Fish Biol Fish*, 7, 1-34.
- Weber, P. K. (1993). Saving the coral reefs. *Futurist*, 27, 28-28.
- Wilkinson, C., & Salvat, B. (2012). Coastal resource degradation in the tropics: Does the tragedy of the commons apply for coral reefs, mangrove forests and seagrass beds. *Marine Pollution Bulletin*(0). doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.01.041
- Zakai, D., & Chadwick-Furman, N. E. (2002). Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. *Biological Conservation*, 105(2), 179-187.
- Zvy Dubinsky, & Stambler, N. (Eds.). (2011). *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*: Springer.

Apéndice 1. Especies de peces registradas en los censos del 2011 en Cabo Pulmo, así como los valores de Lmax (cm), abundancia, coeficientes de crecimiento a y b, así como las relaciones P/B y Q/B para cada especie.

No.	Especie	L max (cm)	a	b	NT	No. indv.	P/B	Q/B	GF
1	<i>Abudefduf troschelii</i>	18	0.016	3.052	2.950	462	1.410	31.600	<i>Chromis atrilobata</i>
2	<i>Acanthemblemaria crockeri</i>	6	0.010	2.627	3.400	2	3.040	24.800	<i>Halichoeres dispilus</i>
3	<i>Acanthurus nigricans</i>	22	0.067	2.669	2.000	33	1.220	33.000	<i>Chromis atrilobata</i>
4	<i>Acanthurus triostegus</i>	27	0.083	2.570	2.780	1	0.790	29.800	<i>Chromis atrilobata</i>
5	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	70	0.027	2.984	2.410	91	0.540	16.900	<i>Scarus ghobban</i>
6	<i>Alphestes immaculatus</i>	30	0.015	3.004	3.500	2	0.980	9.400	<i>Thalassoma lucasanum</i>
7	<i>Aluterus scriptus</i>	110	0.002	3.000	2.000	2	0.390	12.900	<i>Scarus ghobban</i>
8	<i>Anisotremus interruptus</i>	46	0.057	2.910	3.500	79	0.330	5.200	<i>Diodon holocanthus</i>
9	<i>Anisotremus taeniatus</i>	30	0.057	2.910	3.500	135	0.980	9.400	<i>Thalassoma lucasanum</i>
10	<i>Arothron meleagris</i>	40	0.031	2.850	3.060	78	0.800	15.300	<i>Thalassoma lucasanum</i>
11	<i>Balistes polylepis</i>	76	0.030	2.870	2.780	22	0.510	5.400	<i>Scarus ghobban</i>
12	<i>Bodianus diplotaenia</i>	76	0.020	2.999	3.440	779	0.510	5.400	<i>Bodianus diplotaenia</i>
13	<i>Calamus brachysomus</i>	61	0.398	2.876	3.640	3	0.590	6.900	<i>Diodon holocanthus</i>
14	<i>Calotomus carolinus</i>	54	0.018	3.045	2.000	40	0.000	0.000	<i>Prionurus punctatus</i>
15	<i>Canthigaster punctatissima</i>	9	0.020	2.917	3.010	446	2.290	43.000	<i>Halichoeres dispilus</i>
16	<i>Caranx caballus</i>	70	0.025	3.000	4.010	115	0.540	7.300	<i>Caranx sexfasciatus</i>
17	<i>Caranx melampygius</i>	117	0.021	2.941	4.490	2	0.000	0.000	<i>Caranx sexfasciatus</i>
18	<i>Caranx sexfasciatus</i>	120	0.014	3.140	4.500	1365	0.000	0.000	<i>Caranx sexfasciatus</i>
19	<i>Cephalopholis panamensis</i>	30	0.022	3.035	4.080	58	0.500	8.100	<i>Paranthias colonus</i>

20	<i>Chaetodon humeralis</i>	25	0.030	2.990	2.720	3	1.100	35.500	<i>Chromis atrilobata</i>
----	----------------------------	----	-------	-------	-------	---	-------	--------	---------------------------

No.	Especie	L max (cm)	a	b	NT	No. indiv.	P/B	Q/B	GF
21	<i>Chanos chanos</i>	180	0.007	3.280	2.000	10	0.000	0.000	<i>Scarus ghobban</i>
22	<i>Chromis atrilobata</i>	13	0.020	2.957	2.030	4371	0.000	0.000	<i>Chromis atrilobata</i>
23	<i>Chromis limbaughi</i>	12	0.020	2.957	3.400	85	1.870	40.100	<i>Halichoeres dispilus</i>
24	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	10	0.033	3.000	4.010	998	2.220	18.200	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>
25	<i>Cirrhitus rivulatus</i>	52	0.028	3.000	4.020	4	0.660	6.200	<i>Haemulon sexfasciatum</i>
26	<i>Diodon holocanthus</i>	50	0.352	2.190	3.310	142	0.680	4.900	<i>Diodon holocanthus</i>
27	<i>Diodon hystrix</i>	91	0.193	2.472	3.610	2	0.000	0.000	<i>Bodianus diplotaenia</i>
28	<i>Elacatinus punctulatus</i>	4.6	0.008	3.137	3.540	3	3.670	29.800	<i>Halichoeres dispilus</i>
29	<i>Elops affinis</i>	91	0.011	2.880	4.050	500	0.000	0.000	<i>Caranx sexfasciatus</i>
30	<i>Epinephelus labriformis</i>	60	0.034	2.900	4.000	82	0.290	5.300	<i>Haemulon sexfasciatum</i>
31	<i>Fistularia commersonii</i>	160	0.001	3.000	4.280	52	0.300	3.400	<i>Fistularia commersonii</i>
32	<i>Girella simplicidens</i>	46	0.022	3.005	2.820	2	0.500	16.000	<i>Prionurus punctatus</i>
33	<i>Gymnomuraena zebra</i>	150	0.002	2.953	4.030	1	0.310		<i>Fistularia commersonii</i>
34	<i>Gymnothorax castaneus</i>	150	0.001	3.012	4.030	21	0.000	0.000	<i>Fistularia commersonii</i>
35	<i>Haemulon maculicauda</i>	30	0.009	3.160	4.200	30	0.340	8.700	<i>Paranthias colonus</i>
36	<i>Haemulon scuderi</i>	35	0.009	3.160	4.200	24	0.000	0.000	<i>Paranthias colonus</i>
37	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	48	0.081	2.710	4.200	573	0.310	5.600	<i>Haemulon sexfasciatum</i>
38	<i>Halichoeres chierchiae</i>	20	0.013	3.067	3.530	141	1.300	13.000	<i>Halichoeres dispilus</i>
39	<i>Halichoeres dispilus</i>	25	0.013	3.067	3.500	823	1.110	10.500	<i>Halichoeres dispilus</i>
40	<i>Halichoeres nicholsi</i>	38	0.013	3.067	3.940	21	0.830	8.200	<i>Thalassoma lucasanum</i>
41	<i>Halichoeres</i>	26	0.013	3.067	3.520	5	1.080	10.400	<i>Halichoeres</i>

No.	Especie	L max (cm)	a	b	NT	No. indv.	P/B	Q/B	GF
42	<i>Holacanthus passer</i>	36	0.031	2.946	2.610	228	0.870	18.700	<i>dispilus</i> <i>Holacanthus passer</i>
43	<i>Hoplopagrus guentherii</i>	92	0.023	3.000	3.850	5	0.440	4.800	<i>Bodianus diplotaenia</i>
44	<i>Johnrandallia nigrirostris</i>	20	0.026	3.001	2.970	115	1.300	12.000	<i>Chromis atrilobata</i>
45	<i>Kyphosus analogus</i>	45	0.022	3.005	2.000	254	0.510	16.300	<i>Prionurus punctatus</i>
46	<i>Kyphosus elegans</i>	38	0.022	3.005	2.940	2	0.830	18.000	<i>Holacanthus passer</i>
47	<i>Lutjanus argentiventris</i>	71	0.026	2.900	4.070	1332	0.330	5.800	<i>Caranx sexfasciatus</i>
48	<i>Lutjanus guttatus</i>	80	0.014	3.000	3.830	100	0.490	5.200	<i>Bodianus diplotaenia</i>
49	<i>Lutjanus novemfasciatus</i>	170	0.030	2.870	4.100	24	0.290	3.300	<i>Fistularia commersonii</i>
50	<i>Lutjanus viridis</i>	30	0.017	2.972	4.160	794	0.980	9.400	<i>Paranthias colonus</i>
51	<i>Malacoctenus zonifer</i>	8	0.020	2.648	3.500	1	0.000	0.000	<i>Halichoeres dispilus</i>
52	<i>Microspathodon dorsalis</i>	31	0.024	3.082	2.560	13	0.960	22.700	<i>Holacanthus passer</i>
53	<i>Mulloidichthys dentatus</i>	38	0.013	3.049	3.690	765	0.960	10.300	<i>Thalassoma lucasanum</i>
54	<i>Muraena lentiginosa</i>	61	0.002	2.953	3.940	2	0.590	6.200	<i>Diodon holacanthus</i>
55	<i>Mycteroperca jordani</i>	198	0.019	3.000	4.500	24	0.180	3.000	<i>Fistularia commersonii</i>
56	<i>Mycteroperca rosacea</i>	100	0.015	3.000	4.500	225	0.420	5.000	<i>Caranx sexfasciatus</i>
57	<i>Myripristis leioognathos</i>	18	0.025	3.042	3.100	48	1.410	12.900	<i>Halichoeres dispilus</i>
58	<i>Novaculichthys taeniourus</i>	30	0.013	2.910	3.250	2	0.980	9.400	<i>Thalassoma lucasanum</i>
59	<i>Ophioblennius steindachneri</i>	18	0.032	2.379	2.740	224	1.410	43.700	<i>Chromis atrilobata</i>
60	<i>Paranthias colonus</i>	36	0.014	3.043	4.010	2705	0.870	9.500	<i>Paranthias colonus</i>
61	<i>Plagiotremus azaleus</i>	10.2	0.005	3.139	4.500	502	2.120	18.200	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>
62	<i>Pomacanthus zoniptectus</i>	46	0.019	2.970	3.060	5	0.720	16.000	<i>Diodon holacanthus</i>
63	<i>Prionurus laticlavus</i>	32	0.198	2.504	2.720	2	0.000	0.000	<i>Holacanthus passer</i>
64	<i>Prionurus</i>	60	0.198	2.504	2.000	1698	0.600	21.100	<i>Prionurus</i>

No.	Especie	L max (cm)	a	b	NT	No. indv.	P/B	Q/B	GF
65	<i>punctatus</i> <i>Pseudobalistes naufragium</i>	100	0.130	2.606	3.370	30	0.420	4.600	<i>punctatus</i> <i>Bodianus diplotaenia</i>
66	<i>Rypticus bicolor</i>	28	0.015	3.004	3.980	1	0.000	0.000	<i>Halichoeres dispilus</i>
67	<i>Scarus compressus</i>	60	0.019	3.046	2.000	15	0.600	14.600	<i>Prionurus punctatus</i>
68	<i>Scarus ghobban</i>	90	0.017	3.041	2.250	137	0.000	0.000	<i>Scarus ghobban</i>
69	<i>Scarus perrico</i>	80	0.019	3.046	2.000	37	0.490	11.900	<i>Scarus ghobban</i>
70	<i>Scarus rubroviolaceus</i>	70	0.014	3.109	2.000	122	1.100	17.900	<i>Scarus ghobban</i>
71	<i>Scorpaena mystes</i>	45.7	0.018	3.029	3.840	1	0.000	0.000	<i>Diodon holocanthus</i>
72	<i>Seriola lalandi</i>	250	0.064	2.610	4.070	15	0.000	0.000	<i>Fistularia commersonii</i>
73	<i>Serranus psitacinus</i>	18	0.019	2.853	3.580	52	0.000	0.000	<i>Halichoeres dispilus</i>
74	<i>Stegastes flavilatus</i>	15	0.035	2.911	2.000	423	1.600	40.100	<i>Chromis atrilobata</i>
75	<i>Stegastes rectrifaenum</i>	13	0.035	2.911	2.000	1557	2.290	43.000	<i>Chromis atrilobata</i>
76	<i>Sufflamen verres</i>	40	0.025	3.013	3.270	214	0.800	7.900	<i>Thalassoma lucasanum</i>
77	<i>Thalassoma grammaticum</i>	20	0.016	2.972	4.500	146	1.300	12.000	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>
78	<i>Thalassoma lucasanum</i>	32	0.016	2.972	3.500	14907	0.940	9.100	<i>Thalassoma lucasanum</i>
79	<i>Trachinotus rhodopus</i>	61	0.025	3.000	4.000	18	0.590	6.900	<i>Haemulon sexfasciatum</i>
80	<i>Urobatis concentricus</i>	47.5	0.007	3.042	3.300	1	0.710	7.600	<i>Diodon holocanthus</i>
81	<i>Zanclus cornutus</i>	23	0.015	3.370	2.490	57	0.000	0.000	<i>Chromis atrilobata</i>

Presa/ Depredador	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1 Tiburón y Rayas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2 Delfines	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3 Lobos marinos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4 Aves marinas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5 Tortugas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6 Sardinas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140
7 <i>Fistularia commersonni</i>	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8 <i>Caranx sexfasciatus</i>	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9 <i>Haemulon sexfasciatum</i>	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10 <i>Paranthias colonus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11 <i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12 <i>Bodianus diplotaenia</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13 <i>Diodon holocanthus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14 <i>Thalassoma lucasanum</i>	0.000	0.000	0.073	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15 <i>Halichoeres dispilus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16 <i>Scarus ghobban</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17 <i>Prionurus punctatus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18 <i>Holocanthus passer</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19 <i>Chromis atrilobata</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20 Cephalopodos	0.000	0.000	0.123	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21 Erizos	0.044	0.395	0.039	0.119	0.027	0.020	0.000	0.018	0.025	0.010
22 Estrellas	0.025	0.059	0.000	0.002	0.049	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
23 Crustaceos	0.305	0.208	0.296	0.174	0.357	0.071	0.000	0.050	0.069	0.690
24 Caracoles	0.071	0.107	0.226	0.177	0.050	0.009	0.001	0.018	0.038	0.100
25 Invertebrados bentónicos	0.070	0.053	0.000	0.230	0.058	0.023	0.000	0.070	0.272	0.010
26 Opistobranchia	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
27 Pepinos de mar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28 Bivalvos	0.000	0.101	0.043	0.138	0.036	0.064	0.001	0.008	0.010	0.050
29 Corales	0.000	0.000	0.000	0.052	0.009	0.274	0.038	0.005	0.000	0.000
30 Zooplancton	0.096	0.000	0.000	0.049	0.132	0.165	0.000	0.025	0.206	0.000
31 Alga roja (calcareas)	0.000	0.000	0.000	0.003	0.058	0.183	0.498	0.233	0.152	0.000
32 Alga verdes	0.000	0.003	0.000	0.032	0.010	0.189	0.367	0.455	0.193	0.000
33 Fitoplancton	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000
34 Detritus	0.365	0.000	0.000	0.015	0.005	0.002	0.095	0.120	0.008	0.000

Prey \ predator	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1.000 Tiburón y Rayas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000 Delfines	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.000 Lobos marinos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.000 Aves marinas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.000 Tortugas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.000 Sardinias	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.000 <i>Fistularia commersonni</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.000 <i>Caranx sexfasciatus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.000 <i>Haemulon sexfasciatum</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.000 <i>Paranthias colonus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11.000 <i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12.000 <i>Bodianus diplotaenia</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13.000 <i>Diodon holocanthus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14.000 <i>Thalassoma lucasanum</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15.000 <i>Halichoeres dispilus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16.000 <i>Scarus ghobban</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17.000 <i>Prionurus punctatus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18.000 <i>Holacanthus passer</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19.000 <i>Chromis atrilobata</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20.000 Cephalopodos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21.000 Erizos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22.000 Estrellas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23.000 Crustaceos	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24.000 Caracoles	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25.000 Invertebrados bentónicos	0.000	0.000	0.600	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26.000 Opisthobranchia	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27.000 Pepinos de mar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28.000 Bivalvos	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29.000 Corales	0.100	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30.000 Zooplancton	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.100	0.950	0.020
31.000 Alga roja (calcareas)	0.500	0.600	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000
32.000 Alga verdes	0.400	0.250	0.150	0.800	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000
33.000 Fitoplancton	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.100	0.000	0.880	0.000	0.980
34.000 Detritus	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.020	0.050	0.000