

# UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS PUERTO ÁNGEL



**“FLUJOS TRÓFICOS EN LA BAHÍA DE NAVIDAD,  
JALISCO, MÉXICO DURANTE EL PERIODO 1995-1998”.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
BIOLOGÍA MARINA**

**PRESENTA**

**RAÚL ENRIQUE LARA MENDOZA**

Puerto Ángel, Oaxaca, México, Julio del 2009

## DEDICATORIAS

A mi madre Adelfa Mendoza González, por su continuo esfuerzo y ejemplo de sacrificio por sacarnos adelante.

A mi padre Miguel Ángel Lara Santos que a pesar de sus recaídas y sencillez me enseñó a defender mis ideales.

A mis hermanos Edgar, Miguel Ángel y Liliana que de una manera u otra contribuyeron en mi formación.

Con especial énfasis a mi esposa **Jana** y a mi hijo **Raúl jr**, porque se que les debo muchas horas por compartir. Esta se las dedico a ustedes.

*...A mare nostrum*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Victor Hugo Galván Piña por dirigir la realización de esta tesis y ser parte de su experimento como primer tesista.

Al personal docente, administrativo y de investigación del DEDSZC que de una u otra forma contribuyeron sustentando con sus críticas, apoyo logístico, material científico, datos y por supuesto su valiosa amistad para la realización de esta Tesis, cabe mencionar a los siguientes: Enrique Godínez, Berna, Gaby Lucano, Salvador Ruiz, Emilio Michel, Victor Landa, Ramiro Flores, Juan Ramón, Jorge Rojo, Salvador Hernández, Judith Arciniega, Alonso, Toño Trejo, Estela Carretero, Carmen Franco, Pepe Mariscal, y los que faltan.

Al Dr. Enrique Godínez por permitir que obtuviera una fuente de conocimiento y financiamiento dentro de su grupo de investigación durante este tiempo, y por sus sugerencias oportunas.

Al Dr. Salvador Hernández y a la Dra. Carmen Franco por brindarme información y datos muy importantes sobre el grupo de aves y zooplancton marino, y por permitirme participar en sus muestreos como auxiliar técnico, los cuales me fortalecieron aun más como biólogo marino. Gracias “Chavita” por prestarme tu impresora.

Al prof. Mario Sánchez Palacios (CETMAR O5 Salina Cruz), Ecol. Mar. Sebastian Ramos Cruz (CRIP-INAPESCA Salina Cruz), Biol. Jesús Solorzano Osorio (CONAPESCA), M. en C. Ricardo Ramírez Murillo y Marco Antonio Martínez Muñoz (Marquito) (UNAM-ICMyL) por ser los principales precursores de mi formación como estudioso de las ciencias del mar.

Al grupo comunitario de vigilancia ambiental “Las Guasimas” en la playa El Coco, por permitir el acceso a los datos de la abundancia de tortugas en dicha playa, de manera especial para el M. en C. Jose Antonio Trejo del grupo Tortugas Marina de la U. de G.

A la Dra. Elaine Espino Barr (CRIP Manzanillo) porque de manera desinteresada proporciono datos muy valiosos y por su enorme entusiasmo en querer ser participe de la revisión de este documento.

A los amigos de la UMAR y Puerto Ángel, principalmente los de la carrera Biol. Mar. de la generación (2003-2008) por alimentarme con sus criticas y enseñanzas, y formar parte de la mejor etapa de mi vida..... Nunca los olvidare canijos!!

A los maestros de la UMAR Pto. Ángel, en especial para Gaby Medina, Vicente y Toño, por sus críticas constructivas y apoyo continuo.

A los amigos que convivimos en Jalisco (IRNA's, nuevos biologos marinos y en en general) y Manzanillo (Neptunes Diving) por sus ratos de parranda y convivencia.

Este trabajo va para quienes hicieron posible crear los modelos a partir de sus datos...

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b>	x
<b>RESUMEN</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2.0 ANTECEDENTES</b>	3
<b>3.0 JUSTIFICACIÓN</b>	5
<b>4.0 HIPÓTESIS</b>	6
<b>5.0 OBJETIVOS</b>	6
5.1 Objetivo general	6
5.2 Objetivos específicos	6
<b>6.0 ÁREA DE ESTUDIO</b>	7
6.1 Oceanografía	7
6.1.1 Corrientes	7
6.1.2 Temperatura	8
6.1.3 Sustrato	9
6.2 Clima	9
6.3 Hidrología	10
6.4 Región biogeográfica	10
<b>7.0 MATERIAL Y MÉTODOS</b>	11
7.1 Descripción del modelo Ecopath	11
7.2 Definición del ecosistema	13
7.2.1 Proporción del hábitat de los grupos funcionales	13
7.3 Estimación de los datos de entrada	13
7.3.1 Biomasa	14
7.3.2 Relación producción/biomasa (P/B)	14
7.3.3 Consumo/biomasa (Q/B)	17
7.3.4 Capturas (Y)	18
7.3.5 Eficiencia Ecotrófica (EE)	18
7.3.6 Matriz depredador presa	19
7.4 Construcción de los modelos de flujo trófico tipo Ecopath	24
7.4.1 Parametrización y balanceo de los modelos	24
7.4.2 Consistencia de los modelos	24

7.4.3 Incertidumbre de los modelos	24
7.4.4 Caracterización trófica del ecosistema	25
7.4.5 Atributos tróficos de los grupos funcionales	25
7.4.5.1 Nivel trófico (NT)	25
7.4.5.2 Índice de omnivoría	26
7.4.6 Atributos tróficos del ecosistema	26
7.4.6.1 Flujos del sistema	26
7.4.6.2 Índice de Conectancia	26
7.4.6.3 Reciclaje del sistema	27
7.4.6.4 Ascendencia (A)	27
7.4.6.5 Capacidad de desarrollo (C)	27
7.4.6.6 “Overhead” (O)	28
7.4.6.7 Impactos tróficos mezclados	28
<b>8.0 RESULTADOS</b>	29
8.1 Construcción de los modelos, parámetros de entrada modificados y de los datos	29
8.2 Atributos tróficos de los grupos funcionales	30
8.3 Atributos tróficos del ecosistema	36
8.4 Tamaño y desarrollo del ecosistema	39
8.5 Impactos tróficos mezclados	40
8.6 Agregación trófica	45
<b>9.0 DISCUSION</b>	50
9.1 Construcción y parámetros de entrada	50
9.2 Calidad y certidumbre de los modelos	51
9.3 Atributos tróficos de los grupos funcionales	51
9.4 Impactos tróficos mezclados	53
9.5 Atributos tróficos del ecosistema	54
<b>10.0 CONCLUSIONES</b>	57
<b>11.0 BIBLIOGRAFÍA CITADA</b>	58

## **ANEXO I**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
Tabla I. Parámetros de crecimiento de la curva de von Bertalanffy utilizados para el cálculo de la mortalidad natural (M) de los grupos funcionales de peces.	16
Tabla II. Parámetros de crecimiento de la curva de von Bertalanffy utilizados para el cálculo de la mortalidad natural (M) de los grupos funcionales de invertebrados.	16
Tabla III. Parámetros de crecimiento de la curva de von Bertalanffy utilizados para el cálculo de la mortalidad natural (M) de los grupos funcionales de aves.	17
Tabla IV. Datos usados para el calculo de la relación consumo/biomasa (Q/B). $W_{\infty}$ = peso asintótico del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, A = aspecto de la aleta del pez.	18
Tabla V. Matriz depredador-presa ajustada para el periodo frío en la Bahía de Navidad.	20
Tabla VI. Matriz depredador-presa ajustada para el periodo cálido en la Bahía de Navidad.	21
Tabla VII. Matriz depredador-presa ajustada para el periodo ENOS en la Bahía de Navidad.	22
Tabla VIII. Fuente de los datos de entrada para los modelos de los periodos frío, cálido y El Niño en el ecosistema de la Bahía de Navidad, Jalisco. (Ecopath)= calculado por el programa, (+)= calculado con datos de la zona y (a)= estimado mediante ecuaciones empíricas.	23
Tabla IX. Datos de entrada y parámetros estimados por grupo funcional para el periodo frío en la Bahía de Navidad, Jalisco.	33
Tabla X. Datos de entrada y parámetros estimados por grupo funcional para el periodo cálido en la Bahía de Navidad, Jalisco	34
Tabla XI. Datos de entrada por grupo funcional para el periodo El Niño 97-98 en la Bahía de Navidad, Jalisco	35
Tabla XII. Índices clave estimados para los grupos funcionales de la Bahía de Navidad, Jalisco para los tres periodos modelados. FD= flujo hacia el detritus ( $t/km^2/año$ ), EN= eficiencia neta, IO= índice de omnivoría.	37
Tabla XIII. Resumen de estadísticos del ecosistema de Bahía de Navidad para los tres periodos modelados.	39

Tabla XIV. Comparación de los índices de flujos totales para los tres periodos. Los índices están expresados en flowbits. 40

Tabla XIV. Índices que expresan la estructura de diferentes ecosistemas similares al trabajado en este estudio. CT= consumo total, FTS= flujos totales del sistema, RT= respiración total, FTD= flujos totales al detritus, PT= producción total, PPT= producción primaria total, BT= biomasa total, IC= índice de conectividad, IOS= índice de omnivoría del sistema, NTMC= nivel trófico medio de la captura, IRF= índice de reciclaje de Finn 56

### INDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Zona de estudio en Bahía de Navidad, Jalisco, México.	7
Figura 2. Promedio mensual de la TSM (°C) en la Bahía de Navidad durante el período 1995-1998.	8
Figura 3. Períodos modelados (fría, cálida y ENOS) en la Bahía de Navidad durante 1995-1998.	9
Figura 4. Tendencia de los cocientes P/Q y R/A, con respecto al nivel trófico de los grupos funcionales.	29
Figura 5. Variación de la biomasa por grupo funcional para los distintos periodos modelados. El eje de la ordenada se expresa en logaritmo de base 10.	30
Figura 6. Variación de la eficiencia ecotrófica (EE) durante los tres periodos modelados.	31
Figura 7. Nivel trófico para cada grupo funcional durante los tres periodos modelados para la Bahía de Navidad.	32
Figura 8. Comparación de algunos cocientes que representan la organización del ecosistema.	40
Figura 9. Representación de los impactos tróficos directos (barras negras) e indirectos (barras blancas) del ecosistema de Bahía de Navidad durante la presencia de la Corriente de California.	42
Figura 10. Representación de los impactos tróficos directos (barras negras) e indirectos (barras blancas) del ecosistema de Bahía de Navidad durante la presencia de la Contracorriente Norecuatorial.	43
Figura 11. Representación de los impactos tróficos directos (barras negras)	44



e indirectos (barras blancas) del ecosistema de Bahía de Navidad durante la presencia de "El Niño".	
Figura 12. Pirámide trófica de distribución de la biomasa (a) y de los flujos totales (b) por nivel trófico discreto para la Bahía de Navidad durante el periodo frío.	45
Figura 13. Pirámides tróficas de distribución de la biomasa (a) y de los flujos totales (b) por nivel trófico discreto para la Bahía de Navidad durante el periodo cálido.	46
Figura 14. Pirámides tróficas de distribución de la biomasa (a) y de los flujos totales (b) por nivel trófico discreto para la Bahía de Navidad durante la presencia del evento El Niño.	46
Figura 15. Agregación de la estructura trófica del ecosistema de Bahía de Navidad en niveles tróficos discretos, durante el periodo frío. Se representan los flujos de la biomasa entre niveles ( $\rightarrow$ ); exportaciones o capturas por pesca ( $\rightarrow \blacktriangleright$ ); respiración ( $\curvearrowright$ ), y el flujos a detritus ( $\dashrightarrow \blacktriangleright$ ); todos los flujos están expresados en t/km <sup>2</sup> /año.	48
Figura 16. Agregación de la estructura trófica del ecosistema de Bahía de Navidad en niveles tróficos discretos, durante el periodo cálido. Se representan los flujos de la biomasa entre niveles ( $\rightarrow$ ); exportaciones o capturas por pesca ( $\rightarrow \blacktriangleright$ ); respiración ( $\curvearrowright$ ), y el flujo a detritus ( $\dashrightarrow \blacktriangleright$ ); todos los flujos están expresados en t/km <sup>2</sup> /año.	48
Figura 17. Agregación de la estructura trófica del ecosistema de Bahía de Navidad en niveles tróficos discretos, durante la presencia del evento El Niño. Se representan los flujos de la biomasa entre niveles ( $\rightarrow$ ); exportaciones o capturas por pesca ( $\rightarrow \blacktriangleright$ ); respiración ( $\curvearrowright$ ), y el flujo a detritus ( $\dashrightarrow \blacktriangleright$ ); todos los flujos están expresados en t/km <sup>2</sup> /año.	49

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

**Ascendencia:** es un índice ecológico que mide el crecimiento y desarrollo de un ecosistema. Este índice está basado en el tamaño y organización, considerando los flujos totales y contenido de información en la trama trófica (Ulanowicz, 1986).

**Cascada trófica:** es una relación trófica depredador-depredador-presa, es el efecto positivo o negativo que recibe una presa, proveniente de quien depreda a su depredador.

**Ecopath:** es un programa para construir modelos (simples o complejos) de los flujos tróficos del ecosistema.

**Eficiencia ecotrófica:** proporción de la producción que se utiliza en el ecosistema a través de la depredación, migración, capturas y acumulación de biomasa.

**Eficiencia de transferencia:** es una proporción que expresa cuán óptimo es el transporte de energía de un nivel trófico al siguiente.

**Flujo:** es un vector de energía (biomasa) que describe una trayectoria y una magnitud para cada compartimento dentro de la red trófica.

**Grupo funcional:** especie o grupo de especies que pueden presentar afinidades taxonómicas y/o hábitos alimenticios similares, aunque también pueden ser aquellas especies de mayor importancia comercial para una pesquería o las más abundantes en el medio.

**Impacto trófico:** es el efecto positivo o negativo ocasionado por la depredación o pesca como resultado de las interacciones tróficas.

**Madurez:** estado final en la sucesión ecológica de los ecosistemas que se alcanza después de haber pasado por diferentes etapas intermedias, que comprenden cambios en su estructura. Se caracteriza por tener un grado máximo de biomasa por unidad de energía presente en concordancia con el ambiente en que se desarrolla (Odum 1969).

**Modelo:** es una representación simple o compleja de un sistema ecológico, que enfatizan ciertos aspectos del sistema investigado para entender su funcionamiento.

**Nivel trófico:** es la posición que ocupa en la trama trófica una especie o grupo funcional de acuerdo a sus hábitos alimenticios.

**Overhead:** potencial de reserva del ecosistema ante perturbaciones, es la diferencia entre la capacidad de desarrollo y la ascendencia.

**Reciclaje:** es un índice ecológico que señala la fracción de los flujos totales que son reciclados. Este índice está fuertemente relacionado con la madurez, resiliencia y estabilidad (Christensen et al. 2005).

**Resiliencia:** es la capacidad que tiene un sistema para responder ante cambios en su medio, ya sean naturales o antropogénicos.

## RESUMEN

En la costa sur del estado de Jalisco se encuentra la Bahía de Navidad, en cuyo litoral se han venido desarrollando diversas actividades, siendo la pesca artesanal y la camaronera (arrastrera) una de las principales actividades que ejercen su efecto directamente en el medio marino; además, fenómenos oceanográficos y meteorológicos a meso y macroescala le confieren características muy peculiares a esta zona. En el presente estudio se integró información diversa existente sobre los recursos bióticos y abióticos del ecosistema para modelarlo mediante el enfoque Ecopath y así conocer la estructura trofodinámica de dicha zona; para lograrlo se tuvieron que construir tres modelos de flujos tróficos para la Bahía de Navidad durante el periodo 1995-1998, los modelos representaron la condición oceanográfica cálida debido a la presencia de la Contracorriente Norecuatorial, otro modelo represento a la condición oceanográfica fría debido a la influencia de la Corriente de California, y un modelo más que represento a la influencia del evento anómalo “El Niño 1997-1998”; para los tres modelos se generaron 43 grupos funcionales, de los cuales 26 fueron de peces, 11 de invertebrados y uno para los siguientes grupos mamíferos marinos, tortugas marinas, aves, zooplancton, productores primarios y detritus. Los datos de entrada de los modelos presentaron una consistencia adecuada con respecto a las características biológicas de cada grupo. Los grupos con las biomásas más altas en las tres épocas fueron los productores primarios y el zooplancton. La red alimenticia del ecosistema presento niveles tróficos entre 1 y 4.47, siendo los depredadores tope los tiburones, los pelágicos mayores y la sierra (*Scomberomorus sierra*). De acuerdo a los impactos tróficos mezclados, la pesquería artesanal fue la que generó los principales impactos tróficos negativos dentro del ecosistema durante los tres periodos. Los valores de la producción primaria neta del ecosistema con valores de 2167.08, 400.319 y 60.073 t/km<sup>2</sup>/año para los periodos frío, cálido y El Niño, respectivamente, indican condiciones diferentes del ecosistema. La ascendencia e índices relacionados indicaron que el ecosistema se encontró en estado de desarrollo o inmadurez, caracterizado por una resiliencia relativamente alta. El periodo frío fue el más productivo. La Bahía de Navidad presenta una productividad relativamente baja en términos de flujos de masa y energía con respecto a otros ecosistemas similares de México.

## ABSTRACT

On the south coast of Jalisco state there is the Bahía de Navidad, on whose coast have been developing various activities, as artisanal fishing and shrimp trawling, one of the main activities that exert their effect directly on the marine environment; in addition, oceanographic and meteorological phenomena, to meso and macroscale give it characteristics very peculiar to this area. The present study integrated different existing information of the biotic and abiotic resources through ecosystem modeling approach Ecopath and this way to know the trophodynamic structure of this zone. Were build three models of trophic flows to the Bahía de Navidad during 1995-1998, the models represented the warm oceanographic conditions due to the presence of Northequatorial Countercurrent, another model was represented the cold oceanographic conditions due to the influence of the California Current, and a model representing the influence of abnormal event "El Niño 1997-1998" for the three models were created 43 functional groups, of which 26 were fishes, 11 invertebrates and one for the following groups marine mammals, sea turtles, seabirds, zooplankton, primary producers and detritus. The input data of the models showed an adequate consistency with regard to the biological characteristics of each group. The groups with the highest biomass in the three seasons were the primary producers and zooplankton. The food web ecosystem showed trophic levels between 1 and 4.47, being the top predators, sharks, large pelagic and Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*). According to the mixed trophic impacts, the artisanal fishery was the one that generated the most negative trophic impacts within the ecosystem during the three periods. The values of ecosystem net primary production were 2167.08, 400.319 and 60.073 t/km<sup>2</sup>/year for the periods cold, warm and El Niño, respectively. Moreover, the properties of the ecosystem showed that the ecosystem was in a state of development or immaturity, characterized by a relatively high resilience. According to the results, the most productive period was during the presence of the California Current. And when making the comparison of the key attributes of the Bahía de Navidad compared with other similar ecosystems of Mexico, found to be lower than the latter and showing low productivity in terms of mass and energy flows.