

UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS PUERTO ÁNGEL



Conectividad potencial entre zonas arrecifales del Pacífico Este: un estudio numérico

Tesis

Que para obtener el Título Profesional de
Licenciado en Biología Marina

Presenta

Bertrand Didier Ghislain Lequeux

Director

Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal

Puerto Ángel, Oaxaca, 2016

Resumen

El objetivo del presente estudio fue analizar el tipo de reclutamiento, las vías de transporte larvario y el nivel de conectividad potencial entre arrecifes coralinos del Pacífico Este, mediante simulaciones numéricas realizadas con un modelo Lagrangiano (Ichthyop v3.2) alimentado con campos de velocidad generados por un modelo hidrodinámico (ROMS_AGRIF v3.1.1) configurado en modo climatológico con $1/12^\circ$ ($\sim 9\text{km}$) en la horizontal y 32 capas sigma en la vertical. Al inicio de cada mes, se liberaron aleatoriamente 5000 partículas pasivas entre 0 y 15 m de profundidad, en nueve áreas arrecifales (Isla Clipperton, Islas Galápagos, Isla Malpelo, Isla del Coco, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Bahías de Huatulco, México). La posición (latitud, longitud y profundidad) de cada partícula fue registrada cada día durante 30 y 120 días (periodo mínimo y máximo de competencia larvaria, respectivamente). La simulación hidrodinámica fue validada con observaciones de temperatura, salinidad, anomalía del nivel del mar y corrientes superficiales obtenidas de diferentes bases de datos de dominio público. El modelo hidrodinámico representó relativamente bien la variabilidad estacional de la Contra Corriente Nor-Ecuatorial, la Corriente Costera de Costa Rica, el Domo de Costa Rica y el Tazón de Tehuantepec. Los resultados del modelo Lagrangiano muestran que el auto-reclutamiento es el proceso dominante, siendo generalmente de mayor magnitud ($>23\%$) en localidades continentales (Bahías de Huatulco, Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador) que en localidades insulares (excepto Islas Galápagos cuyo auto-reclutamiento es igual a 29%). Los tiempos de competencia larvaria largos (e.g. 120 días) aumentan de manera importante la conectividad entre localidades relativamente separadas. Por ejemplo, entre Isla Clipperton y Costa Rica cuya distancia entre sí es de $\sim 2840\text{ km}$. Generalmente, la magnitud del reclutamiento subsidiario es inversamente proporcional a la distancia (es decir, a menor distancia entre localidades, mayor reclutamiento), sin embargo, la presencia de islas y la variabilidad de las corrientes producen desviaciones de dicho patrón. En cuanto a las vías de transporte larvario, la dirección del flujo larvario es principalmente hacia el Sur, siendo Isla del Coco e Isla Malpelo localidades centrales en la conectividad del Pacífico Este. El patrón general de conectividad sigue la ruta Bahías de Huatulco – Isla del Coco – Isla Malpelo – Colombia, con desviaciones de Isla del Coco e Isla Malpelo hacia Islas Galápagos. Por otra parte, larvas provenientes de Costa Rica y Panamá (localidades fuertemente conectadas entre sí) arriban a Isla del Coco, Isla Malpelo y Colombia. Finalmente, el flujo larvario de Ecuador se dirige principalmente en dirección a Islas Galápagos y en menor cantidad hacia Colombia. Cabe resaltar que existe una escisión Norte-sur en cuanto a la conectividad demográfica (reclutamiento subsidiario $>10\%$), las localidades situadas en el Norte (Isla Clipperton y Bahías de Huatulco) no están demográficamente conectadas al resto del Pacífico Este. No obstante, todas las localidades estudiadas presentan conexiones de tipo genética (reclutamiento subsidiario $\leq 10\%$). Las localidades con mayor nivel de conectividad demográfica son Costa Rica – Panamá, Isla del Coco – Islas Galápagos y Ecuador – Islas Galápagos ($>20\%$), seguidas de Isla del Coco – Isla Malpelo, Isla Malpelo – Colombia y Colombia – Isla Malpelo ($>10\%$). En términos de conectividad demográfica,

Costa Rica, Isla del Coco y Ecuador juegan el papel de localidades fuente, Panamá e Islas Galápagos funcionan como localidades sumidero, y Bahías de Huatulco e Isla Clipperton están aisladas. En términos de conectividad genética, Isla Clipperton, Bahías de Huatulco y Costa Rica funcionan como localidades fuente, mientras que Islas Galápagos es la única localidad sumidero.

A mi papá (Jacques), a mi mamá (Régine), a mi hermano (Renaud) y a toda mi familia.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal por su apoyo, sus consejos oportunos, su paciencia y el tiempo dedicado a este trabajo. Sin él, este trabajo no hubiera sido posible.

A mis sinodales Dr. Cristóbal Reyes Hernández, Dr. Andrés López Pérez, Dr. Francisco Benítez Villalobos y M. en C. Antonio López Serrano, por el tiempo brindado en la revisión y corrección de este trabajo.

A mis profesores, amigos y compañeros, los cuales de cierta manera contribuyeron en mi enseñanza.

Al Dr. Laurent Chérubin (Harbor Branch, FAU) y al M. en C. Baruch Figueroa-Zavala (Centro Ecológico Akumal) por haberme permitido trabajar dentro de su respectivo grupo de investigación durante mis estancias profesionales.

A mi familia por su apoyo incondicional durante toda la licenciatura.

Un agradecimiento especial a mi novia Aby, por ser parte de mi vida.

Tabla de contenido

Resumen.....	ii
Agradecimientos.....	v
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas.....	ix
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
3. Justificación	6
4. Hipótesis	6
5. Objetivos.....	6
5.1. Objetivo general	6
5.2. Objetivos particulares.....	7
6. Área de estudio	7
6.1. Localización.....	7
6.2. Distribución de corales	7
6.3. Vientos	8
6.4. Circulación marina de gran escala	9
7. Materiales y métodos.....	10
7.1. Modelo Hidrodinámico	11
7.2. Modelo Lagrangiano	12
8. Resultados	13
8.1. Validación del modelo hidrodinámico.....	13
8.1.1. Temperatura Superficial del Mar (TSM)	14
8.1.2. Salinidad	16
8.1.3. Circulación superficial media	19
8.2. Conectividad potencial anual	24
8.2.1. Matrices de conectividad.....	24
8.2.2. Patrones de conectividad.....	25
8.2.3. Variación mensual de la conectividad	27
8.2.4. Distancia y conectividad	27

8.2.5. Auto-reclutamiento	30
9. Discusiones	32
9.1. Estudios numéricos.....	32
9.2. Estudios ecológicos.....	33
9.3. Estudios genéticos	33
9.4. Conectividad a escala regional y gran escala	34
9.5. Conectividad demográfica y genética	35
9.6. Gestión y Manejo.....	36
10. Conclusiones.....	37
11. Recomendaciones	38
12. Referencias	39
13. Anexo I.....	44
14. Anexo II.....	45

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo de vida de los corales	2
Figura 2. Distribución de los corales del Pacífico Este	8
Figura 3. Circulación superficial media anual proveniente de boyas de deriva (NOAA)	10
Figura 4. Modelo biofísico.....	11
Figura 5. Temperatura superficial del mar (Modelo vs Aqua-MODIS)	15
Figura 6. Anomalía del nivel del mar (Modelo vs AVISO)	16
Figura 7. Salinidad (Modelo vs CARS09)	18
Figura 8. Climatología mensual del caudal de los ríos del PE	19
Figura 9. Circulación superficial media anual simulada por el modelo hidrodinámico.....	20
Figura 10. Circulación superficial media mensual (Modelo vs NOAA).....	23
Figura 11. Matrices (30 y 120 días de competencia larvaria) y patrones de conectividad.	26
Figura 12. Distancia y conectividad.....	28
Figura 13. Histograma de auto-reclutamiento.	31
Figura 14. Variación mensual de la conectividad potencial del PE (enero, febrero y marzo).....	45
Figura 15. Variación mensual de la conectividad potencial del PE (abril, mayo y junio)	46
Figura 16. Variación mensual de la conectividad potencial del PE (julio, agosto y septiembre) ..	47
Figura 17. Variación mensual de la conectividad potencial del PE (octubre, noviembre y diciembre)	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Distancia entre pares de localidades y niveles de reclutamiento promedio	29
Tabla 2. Configuración del modelo Lagrangiano Ichthyop V3.2.	44