



Universidad del Mar
Campus Puerto Ángel

Cambios temporales y espaciales en la estructura de la
comunidad coralina del arrecife La Entrega, Huatulco,
Oaxaca, entre 1997 y 2022

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de Licenciado en
Biología Marina

Presenta

Iván Dalí Sánchez Rodríguez

Director

M. en C. Gerardo Esteban Leyte Morales

Puerto Ángel, Oaxaca, julio 2023

Resumen

El arrecife de La Entrega, Huatulco, Oaxaca, ha sufrido varios disturbios en los últimos 40 años, lo cual ha generado que la comunidad coralina experimente fases de perturbación y estabilidad, junto con eventos de cambio y recuperación. En esta investigación, se compararon los datos de cobertura de 1997 y 2022 de La Entrega, Huatulco, a través de índices de diversidad alfa, beta y observaciones registradas considerando los disturbios ocurridos durante estos dos años. De esta forma, se obtuvo que, en 1997, el arrecife era heterogéneo con una alta diversidad de especies y en donde la zona somera y profunda se distinguían fácilmente. 25 años después, se observó un aumento en la cobertura de coral vivo de más del 60%, lo que podría indicar un arrecife saludable, sin embargo, el arrecife está dominado casi en su totalidad por *Pocillopora damicornis*, un coral con crecimiento rápido y con alta predisposición a la fragmentación, generando que este sea un ambiente homogéneo y en proceso a convertirse en un arrecife monoespecífico. Asimismo, se determinó que el dominio de *P. damicornis* se debe a las estrategias de competencia y exclusión que posee la especie sobre otros corales, incluso más agresivos que él. A la par, se describen tres nuevas formas de competencia indirecta de *P. damicornis* sobre *Pavona* spp., clasificados como puentes de coral, sepultamiento por fragmentación y formación de cuevas, los cuales generarán que las colonias de *Pavona* spp. que interactúan con *P. damicornis* sucumban antes del año 2030.

Palabras claves: cobertura; *Pocillopora damicornis*, disturbio; exclusión de especies; sucesión de especies; competencia indirecta.

Dedicatoria

Con todo mi amor, para mi mamá.

Por ser el ser humano que más ha confiado en mí y que ha estado a mi lado desde el inicio de este bello camino llamado vida.

-Ni temblores, ni huracanes, ni tormentas, ni pandemias, impidieron que
cumpliéramos con nuestro objetivo-. (Iván Dalí, 2022).

Agradecimientos

Es curiosa la sensación que te produce escribir los últimos párrafos de tu tesis, te sientes libre y feliz por lo que estás logrando, si bien, se puede presentar como un logro individual, este trabajo tiene un granito de arena de todas aquellas personas que han influido en mí a lo largo de los años.

Por tal motivo, expreso mi agradecimiento a:

Mis padres, que me enseñaron a florecer, pese a la adversidad y que me dieron las bases para ser un hombre virtuoso.

A mi abuelita, que me ha enseñado que rendirse no es una opción.

A mi hermana, por ser mi confidente y por ser la persona que siempre apoya mis planes y proyectos, gracias hermanita.

A Guillermo, por ser un maestro de vida y compartirme la sabiduría del Anáhuac y el camino del guerrero y que, de no ser por su ayuda, no estaría aquí.

A Karen Valenzuela, por ser mi compañera de vida, motivarme, animarme y estar conmigo en las buenas, las malas y las peores, y sé, que se convertirá en una gran bióloga marina.

A mi profesor Gerardo Leyte, a quien estimo muchísimo y que, gracias a su interminable curiosidad y unos buceos en el arrecife de La Entrega, en 1997, hoy podemos presentar esta tesis, asimismo, agradezco toda su ayuda durante esta tesis, por apoyarme en las metas que nos propusimos y los proyectos que logramos realizar, usted me ha ayudado a ser mejor persona, no solo en lo académico, sino también en lo personal.

A mi profesora Luz María, quien me dio una confianza muy grande y siempre estaré agradecido con ella, siempre ha estado al pendiente de mi y fue usted uno de los pilares más importantes para que esta tesis exista, sin usted, nos hubiéramos quedado cortos, que gusto me da haber podido trabajar con usted, es una persona maravillosa.

A mis revisores: Francisco Benítez, Julio Acosta y Darla Torres, por ser más que mis revisores, por darme consejos de vida, de formación académica y por apoyarme tanto en este proceso de tesis, gracias por su aprecio y contribución en este trabajo.

A la Vicerrectora académica: Dra. María del Rosario Enríquez Rosado, por permitirme participar en los eventos de los 30 años de la Universidad del Mar y “Una Mirada al Mar, desde Oaxaca”, además de integrarme más a la comunidad umareña, que, sin duda, marcaron un antes y un después en mi forma de ver las cosas.

A mis amigos, por estar conmigo y escucharme cuando más lo necesité: Carla Sabina, Azalía, Imee, Noelia, Liliana, Gisela, Mónica, Óscar, Ulises, Mich, Andrea, Lili.

A mis queridos profesores que generaron un impacto positivo en mi persona y que me brindaron consejos acertados: Mtra. Marta, Mtro. Ernesto, prof. Montoya, prof. Lety, prof. Samanta, prof. María Del Rosario Cid. prof. Ana María., prof. Fátima., prof. Arturo., prof., Gianpaolo. y a mis demás profesores con los que tomé clases durante la carrera.

A mi familia lejana, materna y paterna, que están conmigo sin estarlo, pero en especial, a mi primo Tlacaheel, por siempre compartir mi sueño.

Asimismo, agradezco al proyecto titulado “Mecanismos de resiliencia en arrecifes coralinos de Huatulco: Seguimiento del efecto del sismo de junio de 2020”, con clave: CUP2IR0222. Financiamiento interno. Responsable: M. en C. Gerardo Esteban Leyte Morales. Sin este proyecto, no habría sido posible la toma de datos en el arrecife de La Entrega en 2022.

A la Universidad del Mar por todo el apoyo de infraestructura, personal y equipo.

Y a la comunidad UMAR, lugar donde me formé y mi segundo hogar.

A la vida, que por cuestiones de evolución y azar estamos todos aquí reunidos permitiéndonos hacer lo que más nos gusta.

| | |
|--|----|
| índice | |
| Índice de Figuras | 7 |
| Índice de tablas | 10 |
| Introducción | 11 |
| Antecedentes | 14 |
| Disturbios externos que han afectado a La Entrega, en el periodo 1982-2022 . | 15 |
| Cambios en la cobertura de coral de La Entrega 1997-2016 | 17 |
| Cambios en las poblaciones de <i>Diadema mexicanum</i> 1997-2010 | 19 |
| Reproducción de corales en La Entrega | 20 |
| Justificación | 21 |
| Pregunta de investigación | 21 |
| Hipótesis | 21 |
| Objetivo general | 22 |
| Objetivos específicos | 22 |
| Área de estudio | 22 |
| Clima | 23 |
| Oceanografía | 24 |
| El arrecife de La Entrega | 25 |
| Material y métodos | 25 |
| Procesos de competencia y exclusión | 26 |
| Análisis de datos..... | 27 |
| Resultados | 32 |
| Estructura y cambios de la comunidad coralina de La Entrega en 1997 y 2022. .. | 32 |
| Diversidad alfa de La Entrega 1997 y 2022 | 35 |
| Diversidad Beta de La Entrega en el periodo 1997-2022 y entre los años de 1997 y 2022..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Procesos de competencia directa e indirecta entre <i>Pocillopora damicornis</i> y <i>Pavona</i> spp..... | 46 |
| Observación y documentación de la competencia directa e indirecta de <i>Pocillopora damicornis</i> y <i>Pavona</i> spp. | 54 |
| Discusión | 62 |
| Recuperación de la cobertura de coral en el arrecife de La Entrega 1997 y 2022 | 62 |
| Dominancia y exclusión de especies por parte de <i>Pocillopora damicornis</i> | 63 |
| Patrones de asentamiento de <i>Pocillopora damicornis</i> y <i>Pavona</i> spp. | 67 |
| La Entrega y los arrecifes del Caribe | 68 |
| Monoespecificidad del arrecife y futuro de La Entrega..... | 69 |
| Conclusión | 71 |
| Recomendaciones | 72 |
| Referencias | 72 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación de la playa La Entrega, Huatulco, Oaxaca, México. | 23 |
| Figura 2. Riqueza específica de la zona somera y profunda de La Entrega 1997 y 2022. Las barras de error indican la desviación típica. | 36 |
| Figura 3. Índice de diversidad de Shannon no sesgado para la zona somera y profunda de 1997 y 2022. Las barras de error indican la desviación típica. . | 37 |
| Figura 4. Valores del índice de dominancia de Simpson para la zona somera y profunda de 1997 y 2022. Las barras de error indican la desviación típica. . | 38 |
| Figura 5. Valores del índice de equitatividad de Pielou para la zona somera y profunda de 1997 y 2022. Las barras de error indican la desviación típica. . | 40 |
| Figura 6. Número total de especies reportadas entre 1997 y 2016 por: Glynn & Leyte-Morales (1997); Leyte-Morales (2001); López-Pérez & Hernández-Ballesteros (2004); Medellín-Maldonado <i>et al.</i> (2016), además del número total de especies encontradas en 2022, respectivamente. | 41 |
| Figura 7. Análisis clúster con un coeficiente de correlación de 0.982. Se utilizó el índice de similaridad de Morisita y el centro de grupo (UPGMA) de La Entrega, zona somera y profunda 1997 y 2022. | 43 |
| Figura 8. Escalamiento multidimensional no métrico en 2D, considerando tres grupos sugeridos por el análisis clúster del ambiente somero y profundo del arrecife de La Entrega 1997 y 2022. | 44 |
| Figura 9. Retrocálculo del año de asentamiento de <i>P. gigantea</i> considerando un crecimiento de 0.8 y 1.1 cm/año, además, se realizaron cinco intervalos según la regla de Sturges y se utilizó el error estándar como barras de error. | 46 |
| Figura 10. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. gigantea</i> considerando un crecimiento de 0.8 cm/año. Además, se definieron cinco intervalos según la regla de Sturges y se utilizó el error estándar como barras de error. | 47 |
| Figura 11. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. gigantea</i> considerando un crecimiento de 1.1 cm/año. Se utilizaron cinco intervalos según la regla de Sturges y se utilizó el error estándar como barras de error. | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 12. Retrocálculo del año de asentamiento de las colonias de <i>Pavona varians</i> encontradas en 2022. | 49 |
| Figura 13. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. varians</i> considerando un crecimiento de 0.36 cm/año. Utilizando cuatro intervalos de clase según la regla de Sturges. Se utilizó el error estándar como barras de error..... | 49 |
| Figura 14. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. varians</i> considerando un crecimiento de 0.5 cm/año. Utilizando cuatro intervalos de clase según la regla de Sturges. Se utilizó el error estándar como barras de error..... | 50 |
| Figura 15. Retrocálculo del año de asentamiento de las colonias de <i>Pocillopora damicornis</i> que crecen alrededor de las colonias de <i>Pavona</i> spp..... | 51 |
| Figura 16. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. damicornis</i> considerando un crecimiento de 3 cm/año. Se utilizó el error estándar como barras de error..... | 52 |
| Figura 17. Histograma de frecuencia del año de asentamiento de <i>P. damicornis</i> considerando un crecimiento de 5 cm/año. Se utilizó el error estándar como barras de error..... | 53 |
| Figura 18. Regresión lineal simple de los años de cierre de las cuevas formadas por <i>Pocillopora damicornis</i> sobre <i>Pavona</i> spp. utilizando dos tasas de crecimiento: 3 y 5 cm/año. | 54 |
| Figura 19. Parte profunda de La Entrega, Huatulco, 1997 y 2022. A: colonias de <i>Pavona gigantea</i> y B: colonias de <i>Pocillopora damicornis</i> . Fotografías tomadas <i>in situ</i> por G. Leyte..... | 55 |
| Figura 20. Parte profunda de La Entrega, 1997 y 2022, se observa el cambio visual en la abundancia de erizos. El círculo blanco señala a un erizo oculto en una pequeña cueva formada por <i>P. damicornis</i> . Fotografías tomadas por G. Leyte. | 57 |
| Figura 21. Proceso de competencia indirecta de <i>Pocillopora damicornis</i> (A) sobre <i>Pavona</i> spp. (B) en la parte profunda de La Entrega, 1997 y 2022. C: | |

Ahogamiento de *Pavona* spp. por *P. damicornis*; D: puentes de coral formados por *P. damicornis* Fotografías tomadas por G. Leyte. 59

Figura 22. Proceso de competencia indirecta, señalado dentro del círculo blanco, de *Pocillopora damicornis* sobre *Pavona* spp. en la parte profunda de La Entrega, 1997 y 2022. Fotografías tomadas por G. Leyte. 61

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla I. Estructura de la recopilación de cada descriptor ecológico | 28 |
| Tabla II. Comparación general de los descriptores ecológicos. | 29 |
| Tabla III. Porcentaje de cobertura del bentos de la zona somera y profunda del arrecife de La Entrega de 1997 y 2022. * El grupo de las algas representan a las algas verdes filamentosas. | 33 |
| Tabla IV. Prueba <i>z</i> para medias de dos muestras aplicadas a datos de cobertura de <i>Pocillopora damicornis</i> | 34 |
| Tabla V. Abundancia promedio de erizos encontrados en La Entrega, en 1998 y 2022. | 35 |
| Tabla VI. Prueba <i>t de Hutcheson</i> para el índice de diversidad de Shannon no sesgado, entre la zona somera y profunda de 1997 y 2022. | 37 |
| Tabla VII. Prueba <i>t de Hutcheson</i> para el índice de dominancia de Simpson, entre la zona somera y profunda de 1997 y 2022. | 39 |
| Tabla VIII. Valores del índice de Jaccard entre 1997, 2001, 2004, 2016 y 2022. . | 42 |
| Tabla IX. PERMANOVA de una vía utilizando el índice de similaridad de Morisita y considerando tres grupos del arrecife de La Entrega 1997 y 2022. | 45 |
| Tabla X. Análisis SIMPER utilizando el índice de similaridad de Bray-Curtis considerando tres grupos seleccionados del ambiente somero, zona de transición y profundo del arrecife de La Entrega 1997 y 2022. | 45 |