



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**Estudio de la estrella de mar “Corona de  
espinas” *Acanthaster planci* (Echinodermata:  
Acanthasteridae) en las comunidades  
arrecifales del Golfo de California**

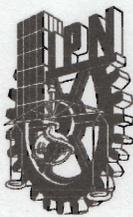
**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**

**ALEJANDRO HERNÁNDEZ MORALES**

**LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2018**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 13 del mes de Junio del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"ESTUDIO DE LA ESTRELLA DE MAR "CORONA DE ESPINAS" *Acanthaster planci***  
**(ECHINODERMATA: ACANTHASTERIDAE) EN LAS COMUNIDADES ARRECIFALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

<b>HERNÁNDEZ</b> Apellido paterno	<b>MORALES</b> materno	<b>ALEJANDRO</b> nombre(s)
		Con registro: <b>B 1 6 0 8 9 8</b>

Aspirante de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**  
Directores de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DRA. MARÍA DINORAH HERRERO PÉREZRUL**  
Directora de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. DAVID ARTURO PAZ GARCÍA**  
2º. Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ**

\_\_\_\_\_  
**DR. MAURICIO MUÑOZ OCHOA**

\_\_\_\_\_  
**M. en C. MARÍA REBECA GRANJA FERNÁNDEZ**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

\_\_\_\_\_  
**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**



**I.P.N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCIÓN**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe ECOL. ALEJANDRO HERNÁNDEZ MORALES Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160898 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. MARÍA DINORAH HERRERO PEREZRUL Y DR. DAVID ARTURO PAZ GARCÍA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ESTUDIO DE LA ESTRELLA DE MAR "CORONA DE ESPINAS" *Acanthaster planci*

(ECHINODERMATA: ACANTHASTERIDAE) EN LAS COMUNIDADES ARRECIFALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: hdezmorale@gmail.com - dainoper@hotmail.com - dpaz@cibnor.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ECOL. ALEJANDRO HERNÁNDEZ MORALES

*Nombre y firma del alumno*

<b>Índice</b>	<b>Página</b>
Lista de figuras.....	4
Lista de tablas.....	6
Glosario.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
2. Antecedentes.....	13
2.1. Biología.....	13
2.2. Ecología.....	13
2.3. Problemática.....	14
2.4. Estudios en México.....	15
3. Justificación.....	18
4. Hipótesis.....	18
5. Objetivos.....	19
5.1. Objetivos particulares.....	19
6. Materiales y Métodos.....	20
6.1. Área de estudio.....	20
6.2 Trabajo de campo y gabinete.....	24
7. Resultados.....	32
7.1 Descripción de COTS.....	32
7.2 Identidad taxonómica.....	32
7.3 Distribución.....	34

7.4 Abundancia.....	34
7.5 Diámetro de la estrella.....	36
7.6 Alimentación.....	40
8. Discusión.....	44
8.1 Identidad taxonómica.....	44
8.2 Distribución.....	45
8.3 Abundancia.....	46
8.4 Diámetro.....	48
8.5 Alimentación.....	50
9. Conclusiones.....	53
10. Futuras líneas de investigación.....	54
11. Bibliografía.....	55
12. Anexo.....	70

<b>Lista de figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Outbreak de COTS en Kingman Reef, Pacífico Central. Foto: NOAA.....	11
Figura 2. Área de estudio. Los puntos representan los sitios de monitoreo.....	21
Figura 3. Estrella Corona de espinas (COTS) en el Golfo de California. A. Superficie bactinal: 1) Disco, 2) Brazo (Foto: Hernández Morales); B. Brazo dorsal: 3) Espina, 4) Placas basales (Foto: Vázquez-Arce); C. Superficie actinal: 5) Estómago, 6) Pies ambulacrales (Foto: Hernández Morales); D. Zona oral: 7) Boca, 8) Espinas actinales (Foto: Vázquez-Arce).....	25
Figura 4. Registro del diámetro ( $D_d$ ) de <i>A. planci</i> en las zonas arrecifales del Golfo de California. ....	29
Figura 5. Postura de alimentación de <i>A. planci</i> . Foto: Reyes-Gálvez.....	31
Figura 6. Cladograma que muestra las relaciones genéticas entre los individuos del Golfo de California con los cuatros clados del Indo-Pacífico de <i>Acanthaster planci</i> . Secuencias genéticas tomadas del GenBank. Los números representan la robustez de remuestreo.....	33
Figura 7. Abundancia de COTS durante el periodo de estudio en el Golfo de California. La línea representa el esfuerzo de muestreo.....	35
Figura 8. Densidad de <i>A. planci</i> en el periodo analizado. La línea representa el esfuerzo de muestreo.....	35

Figura 9. Distribución de la abundancia de COTS con respecto a la latitud en el Golfo de California en el periodo 2016.....	36
Figura 10. Frecuencia del diámetro de <i>A. planci</i> ( $D_d$ ) en el Golfo de California durante el 2008, 2015, 2016 y 2017.....	37
Figura 11. Distribución del diámetro de <i>A. planci</i> con respecto a la latitud en el Golfo de California en el periodo 2016.....	38
Figura 12. Distribución del diámetro de COTS en el periodo 2016 para el Golfo de California.....	38
Figura 13. Frecuencia de las etapas de vida de <i>A. planci</i> en el área de estudio de acuerdo con la clasificación de Miller <i>et al.</i> , 2003.....	40
Figura 14. Porcentaje de tipos de alimento consumido por <i>A. planci</i> en el Golfo de California.....	41
Figura 15. Distribución de los tipos de alimento de <i>A. planci</i> con respecto a la latitud en el Golfo de California.....	42
Figura 16. Porcentaje de los tipos de alimento por zona en el área de estudio: A. Zona Sur, B. Zona Norte.....	43

<b>Lista de Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Individuos seleccionados para el análisis genético.....	26
Tabla 2. Tamaño de las etapas de vida de COTS.....	30
Tabla 3. Etapas de vida de COTS en el Golfo de California utilizando los criterios de Miller <i>et al.</i> , 2009.....	39
Tabla 4. Especies y subespecies reconocidas para el género <i>Acanthaster</i> presente en la página de World Register of Marine Species (WoRMS, 2018).....	44
Tabla 5. Densidades registradas por diversos estudios de COTS en el Golfo de California.....	47
Tabla 6. Información de los individuos registrados para el análisis del <b>D<sub>d</sub></b>	70
Tabla 7. Datos fotográficos para el análisis del tipo de alimentación.....	71

## **Glosario**

**Boca:** Abertura del sistema digestivo, localizada en la región oral.

**Brazo:** Proyección ambulacral móvil conectado al disco, dividido en segmentos (articulaciones) y con espinas. Los segmentos más próximos al disco son los más antiguos y los que están en la punta del brazo son los más jóvenes.

**Disco:** Área central del cuerpo excluyendo los brazos. Es donde se concentran los principales órganos y la boca, pudiendo ser redondo o pentagonal.

**Espinas:** Están presentes a lo largo de las placas laterales del brazo o pueden estar presentes en el disco. Son proyecciones calcáreas externas largas, más o menos cilíndricas o cónicas, lisa o dentada. Son móviles, articuladas y ligadas al endoesqueleto. Pueden tener diferentes formas y tamaños.

**Madreporita:** Placa del sistema vascular acuífero que comunica el canal pétreo con el exterior.

**Oral:** Lado de la boca, a menudo se denomina ventral; también como adjetivo para estructuras en estrecha asociación con la boca.

**Pies ambulacrales:** Estos se proyectan a través de pequeños orificios ubicados lateralmente en las placas ventrales del brazo. Este podio es la terminación del sistema vascular acuífero, el cual tiene como función la locomoción y recolección de alimento.

**Saponinas:** son sustancias glicosídicas, capaces de alterar la permeabilidad de las membranas celulares dando como resultado una reacción hemolítica, ya que ocasionan ruptura o destrucción de los eritrocitos.

**Ventral:** Lado del organismo donde se ubica la boca, también conocido como oral.

## Resumen

En México, la estrella de mar *Acanthaster planci* es un habitante común en las comunidades arrecifales a lo largo del Golfo de California, pero es poco el conocimiento que se tiene de ella. El propósito de este trabajo fue describir a *Acanthaster planci* en las zonas arrecifales del Golfo de California. El estudio se realizó a través de la recopilación de datos (2004-2017) obtenidos de monitoreos biológicos de invertebrados arrecifales y registros fotográficos procedentes de diversas instituciones y organizaciones civiles. Se estimó la abundancia de 1,075 transectos de banda (25 x 2 m). Se realizó un registro del diámetro del disco de 493 individuos en los años 2008, 2015, 2016 y 2017 con una cinta métrica flexible (precisión 1 mm) y mediante mediciones con fotografías. Para describir el tipo de alimentación de *A. planci* se hizo un análisis fotográfico, donde se identificó hasta el nivel taxonómico posible los organismos de los cuales se alimenta. Se contabilizaron 2,680 individuos, con una densidad promedio de  $0.050 \pm 0.001$  ind/m<sup>2</sup>, donde la mínima y máxima densidad se presentaron durante el 2016 y 2006, respectivamente. Este patrón de densidad de menos de un organismo por metro cuadrado es común entre los equinodermos conspicuos arrecifales. El diámetro de disco promedio fue de  $17.28 \pm 0.22$  cm. La estrella más pequeña (4.5 cm) se registró a los 27°N, mientras la más grande (36 cm) a los 24°N. Los individuos de mayor tamaño están concentrados en la parte Sur (24°-26°N) del Golfo, mientras que en el Norte (26°-28°N) se presentan individuos más pequeños, lo que nos indica que conforme aumenta la latitud el tamaño de los organismos disminuye. Se identificó un total de 66 individuos alimentándose de una dieta variada, con una mayor preferencia por corales hermatípicos como *Pocillopora* spp. y *Porites panamensis*, seguido por tapetes de algas. En el Golfo de California *Acanthaster planci* es un equinodermo arrecifal con densidades que se han mantenido relativamente estables en el tiempo, con una alimentación generalista que consiste principalmente en corales hermatípicos, pero también de otros invertebrados e incluso algas.

## Abstract

In Mexico, the starfish *Acanthaster planci* is a common inhabitant in the reef communities along the Gulf of California, but little is known about it. The aim of this work was to describe *Acanthaster planci* in the reef areas of the Gulf of California. The study was conducted through the collection of data (2004-2017) obtained from biological monitoring of reef invertebrates and photographic records from various institutions and civil organizations. The abundance of 1,075 band transects (25 x 2 m) was estimated. A record of the disc diameter of 493 individuals was made in the years 2008, 2015, 2016 and 2017 with a flexible measuring tape (1 mm precision) and by measurements with photographs. To describe the type of feeding of *A. planci*, a photographic analysis was made, where the organisms from which it feeds were identified up to the possible taxonomic level. There were 2,680 individuals, with an average density of  $0.050 \pm 0.001$  ind / m<sup>2</sup>, where the minimum and maximum density were presented during 2016 and 2006, respectively. This density pattern of less than one organism per square meter is common among conspicuous reef echinoderms. The average disc diameter was  $17.28 \pm 0.22$  cm. The smallest star (4.5 cm) was recorded at 27°N, while the largest (36 cm) at 24°N. The larger individuals are concentrated in the southern part (24°-26°N) of the Gulf, while in the North (26°-28°N) smaller individuals are presented, which indicates that as the latitude increases the size of the organisms decreases. A total of 66 individuals were identified feeding on a varied diet, with a greater preference for hermatypic corals such as *Pocillopora* spp. and *Porites panamensis*, followed by turf algae. In the Gulf of California *Acanthaster planci* is a reef echinoderm with densities that have remained relatively stable over time, with a general diet that consists mainly of hermatypic corals, but also of other invertebrates and even algae.

## 1. Introducción

*Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758) es un equinodermo perteneciente a la clase Asteroidea conocido como “Corona de espinas” o COTS por sus siglas en inglés “The crown-of-thorns starfish”. Presenta un cuerpo cubierto de espinas venenosas por la presencia de saponinas. Tiene un diámetro promedio de disco de 30 a 40 cm y tiene de 15 a 18 brazos (Moran, 1997; Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2014).

La estrella Corona de espinas se distribuye en el Indo-Pacífico, desde el Mar Rojo, la costa Este de África hasta Japón, Islas Polinesias y Australia (Souter & Lindén, 2005; De’ath *et al.*, 2012).

En el Pacífico Oriental Tropical habita en México (Golfo de California, Islas Revillagigedo y Nayarit), Isla Clipperton, Costa Rica (Isla del Coco e Isla del Caño), Panamá (Golfo de Chiriquí), Colombia (Isla de Malpelo e Isla Gorgona) y Ecuador (Islas Galápagos) (Caso, 1961; Glynn *et al.*, 2001; Morello *et al.*, 2014; MacNeil *et al.*, 2016; Zapata *et al.*, 2017).

La COTS es reconocida por su capacidad para alterar la estructura de la comunidad de coral, ya que se alimenta de corales pétreos y otros organismos bentónicos por medio de la liberación de su estómago en el coral y la digestión de las partes blandas (Lawrence, 1987). Después de alimentarse, la estrella deja una cicatriz blanca en la estructura coralina, el esqueleto de coral en poco tiempo (<24 horas) es colonizado por cianobacterias filamentosas y algas; y esto puede ocasionar la muerte del coral (Belk & Belk, 1975; Uthicke *et al.*, 2009). El incremento en la densidad poblacional de COTS puede ocasionar la muerte en áreas extensas de arrecifes coralinos en un tiempo relativamente corto. Los “outbreak” o brotes (Fig. 1) ocurren cuando su densidad está en un punto donde su tasa de alimentación excede la tasa promedio de crecimiento del coral a largo plazo (Birkeland & Lucas, 1990; McClanahan, 2000; Fabricius, 2013). Esto puede alterar fuertemente el ecosistema al reducir la diversidad y riqueza de especies, con lo cual podría ocurrir un cambio en el arrecife, es decir, de ser un arrecife dominado por coral, pasa a ser un arrecife dominado por las algas (Fabricius, 2013; Krupa & Reeves, 2004; Uthicke *et al.*, 2009).



Figura 1. Outbreak de COTS en Kingman Reef, Pacífico Central. Foto: NOAA.

Los primeros informes de incrementos descontrolados de *A. planci* fueron en la Gran Barrera de Coral, Australia en 1957; posteriormente, se informaron brotes en Japón, Hawái, Micronesia, Polinesia Francesa, el Mar de Andamán y el Mar Rojo (Branham *et al.*, 1971; Ormond & Campbell, 1974; Yamaguchi, 1986; Moran, 1986, 1997; Colgan, 1987; Adjeroud *et al.*, 2005; Uthicke *et al.*, 2009). Este fenómeno ha causado la disminución del 50% de la cubierta de coral vivo en los últimos 27 años, en particular en La Gran Barrera Australiana (Endean & Cameron en Quinn & Kojis, 2006; De'ath *et al.*, 2012). Se sugiere el 42% del 50% de pérdida coralina causada por brotes de COTS es consecuencia de la sobrepesca de depredadores de *A. planci* como el caracol tritón *Charonia tritonis* (Linnaeus, 1758) (Endean, 1977; Ormond *et al.*, 1990; Uthicke *et al.*, 2009), el aumento de nutrientes en el mar por escorrentía y desechos de la agricultura (Birkeland, 1982; Uthicke *et al.*, 2009).

Muchos de los estudios realizados sobre COTS provienen del Indo-Pacífico y se han enfocado en el problema del aumento de sus abundancias y los daños que

causan a los arrecifes de coral tanto ecológicos como económicos y sociales (Chess *et al.*, 1997; Pratchett *et al.*, 2007). Se han desarrollado diversos trabajos intentando exterminarlas de los arrecifes coralinos, como métodos manuales que consisten en cortar a los individuos o el uso de sustancias químicas que se inyectan sobre el cuerpo de los organismos (Sweatman, 1995; Brodie *et al.*, 2005; Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2014).

En México son pocos los trabajos enfocados a esta estrella y solamente se menciona entre la lista de los equinodermos comunes del Pacífico Oriental Tropical (Maluf, 1988; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010; Murillo-Cisneros, 2012; Rodríguez-Villalobos *et al.*, 2015). La presencia de COTS ha sido ampliamente monitoreada en el Golfo de California desde 2003-2015, pero los trabajos no describen su distribución y ni su abundancia de manera específica. Entre estos estudios se encuentran los de Reyes-Bonilla *et al.* (2005b), Herrero-Perézrul (2008), Luna-Salguero & Reyes-Bonilla (2010) que mencionan a esta especie como unas de las cuatro estrellas más abundantes de las comunidades arrecifales del Golfo de California. Sin embargo, es importante mencionar que Caso (1961) describió una nueva especie de COTS, llamada *Acanthaster ellisii* para México, que actualmente no se considera válida.

La identidad taxonómica de la COTS presenta algunos problemas (Blake, 1979). Hasta el momento, se considera *A. planci* (Linneaus, 1758) como la única especie válida en el Indo-Pacífico y Pacífico Oriental (WoRMS, 2018), sin embargo, Vogler *et al.* (2008) al analizar el gen Citocromo Oxidasa I (COI) del ADN mitocondrial, detectaron que las poblaciones de esta estrella pertenecientes al Mar Rojo, Océano Índico y al Pacífico están integradas por cuatro clados genéticos, lo cual sugiere que se trata no solo de una especie, sino al menos cuatro especies de *Acanthaster*. A la fecha, no se ha resuelto el problema, y se reitera la observación de que es la única especie válida.

## **2. Antecedentes**

La COTS es una de las especies de mayor interés en la investigación marina debido a que es un importante contribuyente en la disminución de la cobertura coralina y la degradación de los arrecifes de coral (Pratchett *et al.*, 2017). La gran mayoría de los estudios han sido realizados en el Indo-Pacífico y se han enfocado en el tema de los outbreak y sus posibles causas, el efecto de depredación y su mitigación en los arrecifes coralinos (Bos *et al.*, 2013).

### **2.1. Biología**

*Acanthaster planci* ha sido ampliamente estudiada desde aspectos biológicos como los trabajos de Moran (1990) y Moore (1990) que mencionan tamaños de 30 a 40 cm y un cuerpo cubierto de espinas gruesas. Keesing *et al.* (1997) y Caballes *et al.* (2016) que hablan de las dos fases de vida de COTS: la pelágica que consiste en una etapa larvaria de 3-4 semanas, después de esto las larvas se asientan en los arrecifes poco profundos y se convierten en prejuveniles pasando a la fase bentónica; entre los 16 meses y los tres años, los juveniles migran hacia la superficie de las colonias de coral dejando de ser crípticos (Moran, 1986). En la parte reproductiva, algunos trabajos como Babcock *et al.* (2016) y Dumas *et al.* (2016) señalan que estos organismos pueden llegar a liberar en promedio más de 2.5 millones de huevos en un ejemplar de aproximadamente 20 cm de diámetro y alcanzar los 60 millones de huevo en tamaños de 40 cm.

### **2.2. Ecología**

En los estudios ecológicos se describe como una especie que vive sobre los arrecifes de coral a profundidades de 2 a 40 m y de hábitos nocturnos, se alimenta de los corales sacando su estómago a través de su boca y lo extiende sobre el coral digiriendo el tejido (Brauer *et al.*, 1970). Sin embargo, en densidades extremadamente altas (outbreaks) las estrellas pueden agregarse o conglomerarse en una misma área alimentándose todo el día. Tiene una mayor preferencia por corales ramificados del

género *Acropora* y *Pocillopora*, que posteriormente en presencia de un gran número de COTS (>5) presentan huellas blancas debido a la pérdida de los pólipos y con tamaños proporcionales a las dimensiones de las estrellas (Cameron *et al.*, 1991; De'ath & Moran, 1998; Clark & Weitzman, 2008). Se ha analizado la cantidad de cobertura coralina que consumen estos individuos principalmente en laboratorios, registrando que una estrella de 28 cm de diámetro puede llegar a consumir 187 cm<sup>2</sup> de tejido coralino al día (Kayal *et al.*, 2012; Lane, 2012).

### 2.3. Problemática

Gran parte de los estudios se han enfocado en el fenómeno de los “outbreaks”, que se considera al aumento abrupto de las poblaciones de COTS, registrando >40 estrellas en el arrecife y con el 30% de pérdida de cobertura coralina. Este fenómeno ha sido de gran interés desde los años 60 cuando se observó la drástica reducción de coral en los arrecifes de Japón a causa de estos organismos (Lamy *et al.*, 2015; MacNeil *et al.*, 2016).

Derivado de estos estudios, se desarrollaron varias hipótesis que explican el origen de estos cambios (Reichelt *et al.*, 1990). La principal explicación menciona que debido al constante aporte de nutrientes a los arrecifes coralinos producto de los ríos que desembocan en el océano, así como de la agricultura cercana a línea de costa, provoca que haya mayor disponibilidad de fitoplancton para que las larvas de COTS puedan consumir (Brodie *et al.*, 2005, 2017; Mendonça *et al.*, 2010; Nakajima *et al.*, 2016). La alta disponibilidad de alimento permite que la supervivencia de COTS aumente hasta casi el 90%. Estas larvas en pocos meses, al convertirse en juveniles se estarán alimentando de coral (Yamaguchi, 1974).

El principal depredador de *A. planci* es el gasterópodo *Charonia tritonis*, quien es altamente sobreexplotado por pesca. La disminución poblacional del “tritón” y su consecuente falta de depredación hacia *A. planci*, evita que las poblaciones sean reguladas, provocando que la densidad de la especie se mantenga y/o aumente (Moran, 1986, 1997; Nugranad *et al.*, 2000; Morello *et al.*, 2014; Cowan *et al.*, 2017).

Con base en tres décadas de investigación se ha mantenido la idea de que la extensa depredación de *A. planci* no es un fenómeno natural y que el efecto antropogénico ha tenido un papel importante en el deterioro de los ecosistemas arrecifales del Indo-Pacífico, favoreciendo que estos organismos se desarrollen sin alguna presión por el ambiente (Pratchett *et al.*, 2017).

#### 2.4. Estudios en México

En lo que respecta al Pacífico Mexicano, los estudios sobre esta especie son pocos y no se han desarrollado de manera constante como ha sucedido en el Indo-Pacífico desde los años 60 hasta al presente. Desde los primeros registros de la especie en México, *A. planci* ha sido reportada bajo nombres distintos (*Acanthaster ellisii*, *Acanthaster pseudoplanci*), esto a raíz de los diversos cambios en la identidad taxonómica para los individuos en el Pacífico Oriental (Haszprunar & Spies, 2014).

La presencia de *A. planci* en el Pacífico Tropical ya se había registrada desde 1840 en el trabajo de Gray (1840) como *Echinaster ellisii*, mientras que en 1867 fue registrada en La Bahía de La Paz, Golfo de California como *Acanthaster ellisii* (Verrill, 1867). En trabajos posteriores, *A. ellisii* se manejó como la especie que se encontraba en el Golfo de California (Dana & Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973). Caso (1962, 1974) describe un individuo procedente de Isla Socorro (Islas Revillagigedo) como una subespecie de *A. ellisii* a la cual denominó *A. ellisii pseudoplanci* debido a diferencias en algunas estructuras de cuerpo como las espinas, los pedicelarios o las placas bucales. Lo anterior hace evidente que la identidad taxonómica de *A. planci* en el Pacífico Oriental ha sido confusa a lo largo del tiempo y debido a esto, Lucas & Nash (1985) y Nishida & Lucas (1988) por medio de alozimas detectan que la distancia genética entre las poblaciones de *A. ellisii* (Bahía La Paz) y *A. planci* (localidades del Pacífico Occidental) es poca, a diferencia de la que hay entre *A. planci* y *A. brevispinus*; concluyendo la posibilidad de que *A. ellisii* y *A. planci* sean la misma especie. Recientemente debido a criterios genéticos y morfológicos se considera que *A. ellisii* es sinonimia de *A. planci* (Glynn, 1974; Haszprunar & Spies, 2014; Mah, 2018); sin embargo, hasta el momento no se han realizado otras aproximaciones genéticas que

comprueben que las poblaciones del Indo-Pacífico y de México tengan la misma identidad taxonómica.

También se han desarrollado estudios que abordan el aspecto de la distribución, densidad, tamaño y alimentación de los individuos de COTS en el Golfo de California. La estrella *A. planci* se distribuye a lo largo de las zonas arrecifales del Golfo de California, desde los 29°N hasta los 22°N (Luke, 1982; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1994, 1999; Baynes, 1999; Reyes-Bonilla, 2003; Cintra-Buenrostro *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2005; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b, 2007; Herrero-Pérezrul, 2008; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010). Frente a las costas de Nayarit en Islas Marietas e Isla Isabel (20°N) (Honey-Escandón *et al.*, 2008; Hermosillo-Nuñez *et al.*, 2015; Padilla-Pérez *et al.*, 2017). Así como en Islas Revillagigedo (18°N) (Caso, 1962, 1974; Maluf, 1988). Sin embargo, en el resto del Pacífico Mexicano no se le ha registrado y hasta el momento se desconoce la razón.

En el aspecto de la densidad, los trabajos han registrado que las poblaciones de *A. planci* se han mantenido relativamente constantes desde 1970 (0.0045 ind/m<sup>2</sup>) hasta 2015 (0.037 ind/m<sup>2</sup>), con valores inferiores a un individuo por metro cuadrado a lo largo de las zonas arrecifales del Golfo de California, desde Cabo Pulmo (23°N) hasta Puerto Escondido (26°N) en Baja California Sur (Dana & Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973; Glynn, 1974; De Alba, 1978; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; Herrero-Pérezrul, 2008; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010; Murillo-Cisneros, 2012; Hermosillo-Nuñez *et al.*, 2015; Rodríguez-Villalobos *et al.*, 2015). Las mayores densidades se registraron para las islas de Loreto con 0.39 ind/m<sup>2</sup> en el 2007 (Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010) mientras que las menores para el área arrecifal de Cabo Pulmo (0.00019 ind/m<sup>2</sup>) en el periodo 1991-1992 (Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999).

Para el tamaño (diámetro del disco) de la estrella se conoce poco. Solo se han realizado tres trabajos en un periodo de 22 años para el área de estudio; para las islas de San Francisco, San José, Espíritu Santo y Bahía San Gabriel se estimó un diámetro promedio de 9.79 cm (Dana & Wolfson, 1970) y para otra localidad de Isla Espíritu

Santo en Isla Partida se registró un valor promedio de 8.35 cm (Barham *et al.*, 1973). A finales de los años 90, Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera (1999) registraron para el área de Cabo Pulmo un diámetro promedio de 21 cm. Es importante considerar el tamaño de la estrella, mientras más grande el individuo mayor será el daño potencial hacia las colonias de coral (Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999).

En lo que respecta a trabajos de alimentación de COTS, se ha descrito como depredador de corales duros o hermatípicos que se alimenta por lo general en el día (Robinson & Thomson, 1992; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999; Cintra-Buenrostro *et al.*, 2005) y tiene preferencia por el coral *Porites panamensis* Verrill, 1866 seguido de *Pocillopora* spp. y *Pavona* sp. (Dana & Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973; Rodríguez-Villalobos *et al.*, 2015). No obstante, se ha registrado consumiendo ocasionalmente corales ahermatípicos (*Eugorgia* sp. y *Pacifigorgia* sp.), el coral *Porites lobata* Dana, 1846 (Reyes-Bonilla *et al.*, 1999), briozoarios, el gasterópodo *Turbo funiculosus* Kiener, 1848 (Holguin-Quiñones & Michel-Morfín, 2006), algas coralinas y algas frondosas (*Padina* sp.) (De Alba, 1978; Herrero-Pérezrul, 2008). Sin embargo, estos registros de la alimentación se han limitado solo al centro y sur del Golfo, desde los 23°N (Parque Nacional Cabo Pulmo) hasta los 26° Norte (Puerto Escondido), teniendo poco conocimiento si los tipos de alimentación se mantienen a lo largo del Golfo (Dana & Wolfson, 1970; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999; Cintra-Buenrostro *et al.*, 2005; Rodríguez-Villalobos *et al.*, 2015).

El efecto de depredación sobre las colonias de coral aún es poco conocido y solo algunos estudios se han enfocado en entender la relación de la estrella con las comunidades coralinas del Golfo de California. Dana & Wolfson (1970) monitorearon poblaciones de COTS en las Islas San Francisco, San José y Espíritu Santo y observaron el efecto que tiene las COTS sobre la pérdida de cobertura coralina, infiriendo que en un arrecife con una cobertura del 3% (18,150 m<sup>2</sup>), 5.3 m<sup>2</sup> de cobertura coralina serían consumidos por un individuo de tamaño promedio (~10 cm) en un año. Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera (1999) analizaron el efecto de la alimentación de individuos de COTS en el Arrecife de Cabo Pulmo, encontrando que el promedio

individual de consumo diario de coral es de 118.4 cm<sup>2</sup>, equivalente a 4.32 m<sup>2</sup> de consumo anual. Sin embargo, reiteran que el número y la cantidad de coral consumido por esta especie es demasiado pequeño para observar una disminución en la cobertura coralina de la zona. En cuanto al tema de los outbreaks, hasta el momento ninguno de los estudios ha registrado o sugerido la presencia de este fenómeno en el Golfo de California.

### **3. Justificación**

En el Golfo de California, la COTS es un habitante común de las comunidades arrecifales. Sin embargo, son pocos los estudios sobre esta especie y aún se poseen dudas sobre la identidad taxonómica de este equinodermo. Con base en trabajos recientes, Haszprunar & Spies, 2014 y Haszprunar *et al.* (2017) sugieren la posibilidad de que *Acanthaster* spp. responsables de los outbreaks en el Indo-Pacífico se encuentre en aguas mexicanas, sin embargo, es necesario corroborar lo anterior. Por otro lado, hasta la fecha no se han observado cambios drásticos en la densidad poblacional de *A. planci* que puedan representar un peligro potencial para las comunidades coralinas del Golfo de California; sin embargo, se considera importante conocer aspectos básicos de la biología de la especie para entender las poblaciones de COTS en aguas mexicanas. Al respecto, se sabe que la COTS se alimenta de coral, macroalgas y otros invertebrados, aunque se desconoce cual es su preferencia de alimentación y de que organismos se alimentan a lo largo de las zonas arrecifales del Golfo. Por lo tanto, se considera de importancia generar conocimiento acerca de *A. planci* en relación con su abundancia, tamaño y alimentación en las comunidades del Golfo de California.

#### **4. Hipótesis**

Debido a que las comunidades coralinas en el Golfo de California se encuentran expuestas a condiciones ambientales extremas para el desarrollo coralino (baja cobertura, riqueza específica de corales hermatípicos y diferencias latitudinales), se espera que la estrella Corona de espinas sea poco abundante con densidades similares a los equinodermos arrecifales conspicuos (menos de un individuo por metro cuadrado), con menor tamaño y que se alimente de otros organismos aparte de corales.

#### **5. Objetivo general**

Determinar la distribución, abundancia y tipo de alimentación de *Acanthaster planci* en las zonas arrecifales del Golfo de California.

##### **5.1. Objetivos particulares**

1. Corroborar la identidad taxonómica y genética de la estrella Corona de espinas distribuida en el Golfo de California.
2. Analizar la distribución, abundancia y densidad de la especie en las comunidades arrecifales del Golfo de California.
3. Describir la estructura de tallas de la especie.
4. Identificar los organismos de los cuales se alimenta *A. planci* en el área de estudio.

## **6. Materiales y métodos**

### **6.1 Área de estudio**

El Golfo de California (G.C.) se ubica en el noroeste de México, rodeado por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Nayarit; presenta más de 900 islas e islotes dentro sus límites. Se encuentra entre los 20° y 32° de latitud Norte y los 105° y 115° de longitud Oeste, aproximadamente (Ulloa *et al.*, 2006; CONANP, 2012). Es una cuenca marina de forma alargada con una orientación de Noroeste a Sureste; está limitada al Norte por la desembocadura del Río Colorado, al Oeste por la Península de Baja California y al Este por el macizo continental (SEMARNAT, 2001; Ortiz-Pérez *et al.*, 2006).

Para este estudio se seleccionó la zona de arrecife con presencia de cobertura coralina ubicada particularmente del lado de la costa occidental del Golfo, así como las distintas islas e islotes que se encuentran en el área (Fig. 2).

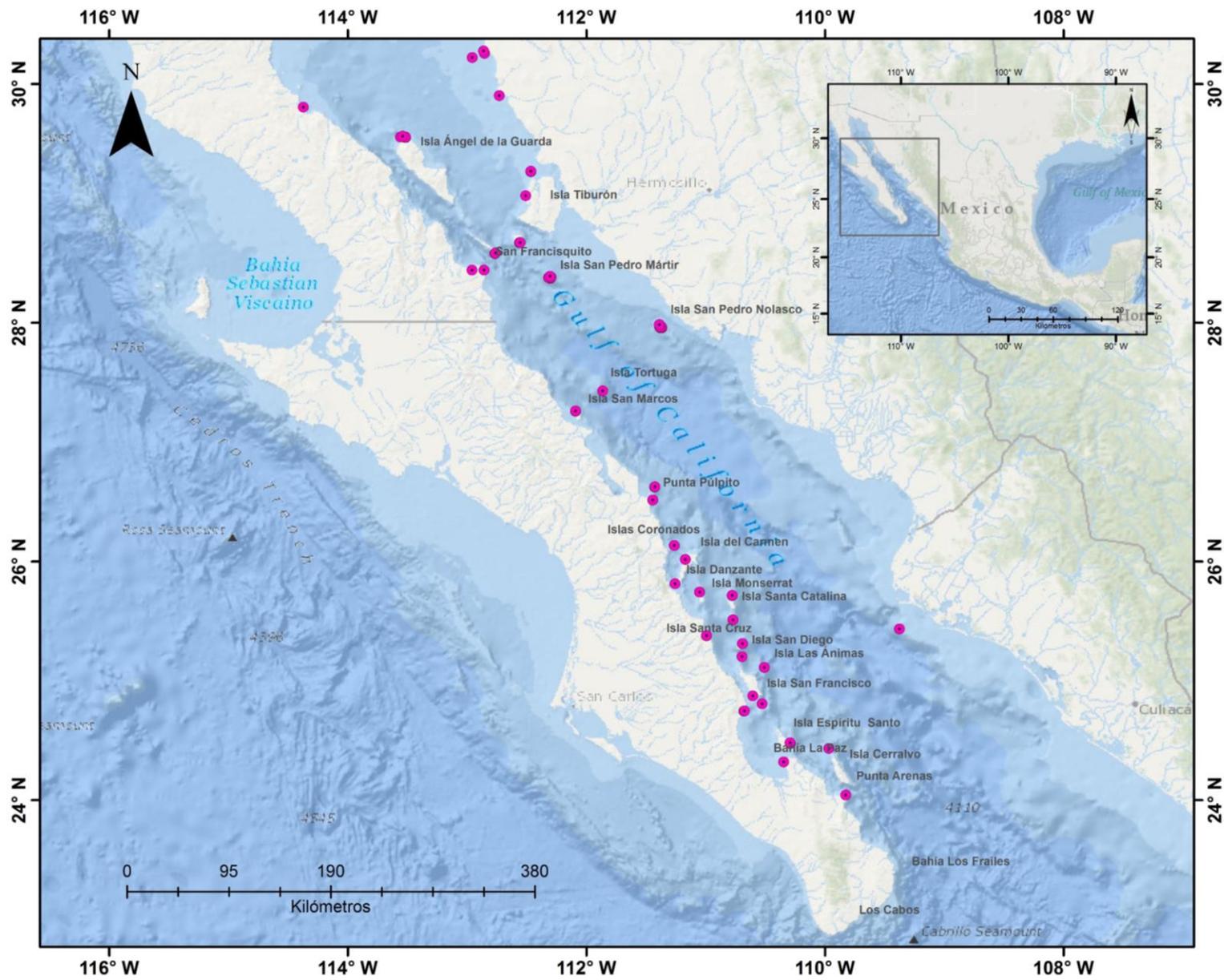


Figura 2. Área de estudio. Los puntos representan los sitios de monitoreo.

### Características físicas

La longitud del G.C. es de aproximadamente 1,600 km. Tiene una anchura máxima, cercana a los 205 km y una mínima de 85 km. Su superficie marina (incluyendo la de las islas), se estima en 283,000 km<sup>2</sup> (SEMARNAT, 2001; Ulloa *et al.*, 2006; Lara-Lara *et al.*, 2008). El G.C. presenta una batimetría compleja, con regiones someras en la parte norte, cuyas profundidades son menores a los 50 metros, hasta cuencas que alcanzan los 3,500 metros de profundidad en la parte sur (INEGI, 1982; Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009).

En el extremo norte y a lo largo de la península de Baja California se observan condiciones de desierto (similares a las del desierto de Sonora, con una precipitación pluvial anual de menos de 100 mm). Suele llover más en la parte este del G.C. que en el oeste y, desde finales de junio hasta septiembre, pueden observarse en la región condiciones de lluvias monzónicas (abundantes y frecuentes) (Ulloa *et al.*, 2006; Lara-Lara *et al.*, 2008).

La precipitación total en el G.C. depende de la incidencia de tormentas tropicales: con vientos extremadamente variables, los huracanes afectan estacionalmente la parte baja del Golfo y con frecuencia se extienden hacia el norte. En general, la región muestra características tropicales y subtropicales durante el verano y templadas durante el invierno, principalmente en la parte norte (Lara-Lara *et al.*, 2008; Wilkinson *et al.*, 2009). El aporte de agua dulce de origen fluvial es relativamente escaso debido a que la mayor parte del agua de los ríos que desemboca en la región se embalsa o desvía para su aprovechamiento en la agricultura o para usos urbanos (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994).

### Características oceanográficas

En el G.C. los tres principales mecanismos que ayudan al aumento de la productividad primaria en la región son: las surgencias inducidas por el viento, la mezcla de marea y la circulación termohalina (Álvarez-Borrego, 2002). Las surgencias se presentan por lo general cerca de la costa Este con vientos del Noroeste en los

meses de diciembre a mayo, y cerca de la costa de la península de Baja California con vientos del Sureste en los periodos de julio a octubre, siendo junio y noviembre periodos de transición. Después de los eventos de surgencia, la columna de agua se estabiliza y las comunidades de fitoplancton disminuyen. La amplitud de la marea, que en la porción septentrional del Golfo puede alcanzar hasta siete metros, así como las mareas mixtas tienen el efecto de transportar agua fría y rica en nutrientes a la superficie (Wilkinson *et al.*, 2009).

Durante los eventos de El Niño la productividad primaria puede ser inhibida en el G.C. y provocar cambios en la estructura de la comunidad planctónica, dando lugar a fallas en la reproducción y la regeneración poblacional de organismos en la parte superior de la columna de agua y también en y alrededor de las islas (Álvarez Borrego, 2002; Wilkinson *et al.*, 2009).

La temperatura superficial del agua en la zona varía. En la región Norte se ha registrado desde 10°C en invierno hasta 32°C en verano; en la región Sur las temperaturas promedio en verano son mayores de 25°C y en invierno de 20°C (Valdez-Holguín *et al.*, 1999); la región de las islas Ángel de la Guarda y Tiburón presentan temperaturas menores que el resto del Golfo debido a fuertes procesos de mezcla por marea y viento (Álvarez-Borrego, 1983). De acuerdo con este patrón de temperatura, los nutrientes presentan altas concentraciones en la región de las islas y decrecen hacia el sur y hacia el norte (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978; Castro *et al.*, 2000; Ulloa *et al.*, 2006).

#### Características biológicas

El Golfo de California presenta una alta productividad primaria debido a la combinación de topografía, latitud meridional y sistemas de surgencias. Esta productividad primaria sirve de sostén a grandes poblaciones de organismos, principalmente del tipo económico como sardina monterrey y crinuda, que son, a su vez, fuente de alimento de varias especies predatoras como calamares, aves, peces, etc. En el Golfo se registran más de cinco mil especies de macroinvertebrados, las

cuales constituyen menos de la mitad de la biodiversidad real en el G.C. (De la Lanza-Espino, 2004; Hendrickx *et al.*, 2005; Wilkinson *et al.*, 2009).

## **6.2 Trabajo de campo y gabinete**

La información de este trabajo proviene de la recopilación de base de datos y registros fotográficos para corroborar la identidad taxonómica, evaluar la abundancia, el tamaño y la alimentación de la COTS en el Golfo de California. Para la identidad taxonómica se recolectaron muestras en distintos periodos, el 2016 en un crucero de investigación “Estudio integrativo de la biodiversidad y la conservación del Golfo de California, bajo un enfoque de paisaje genético marino y conectividad (Convenio FON.INST./26/2016, Fondo Fronteras de la Ciencia-CONACYT)”. y el 2017, donde se obtuvieron muestras de distintas localidades de la Bahía de La Paz, zona que no se muestreó durante el proyecto mencionado.

La abundancia se monitoreó del 2004 al 2016 con excepción del 2015 como parte de proyectos de investigación y monitoreo, realizados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Universidad del Mar (UMAR), Centro Universitario de la Costa (CUCOSTA-UdeG), así como de sociedades civiles como Niparaja A.C. y EPI A.C.

El tamaño de la estrella fue monitoreado por Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) en 2008-2009, el crucero de investigación en el 2016, CICIMAR en el 2016-2017 y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en el 2015 y 2016 (Ver Anexo: Tabla 6).

Los datos de alimentación fueron obtenidos a partir de registros fotográficos provenientes de proyectos realizados por las instituciones y cruceros ya mencionados, además de donaciones personales en el periodo 2004-2017 (ver Anexo: Tabla 7).

## Identidad taxonómica

Para corroborar la identidad taxonómica de la COTS, se recolectaron 62 individuos, a los cuales se registraron las siguientes características morfológicas: ornamentación del disco y el brazo, espinas, placas basales, presencia de madreporita, pies ambulacrales y boca. (Fig. 3).

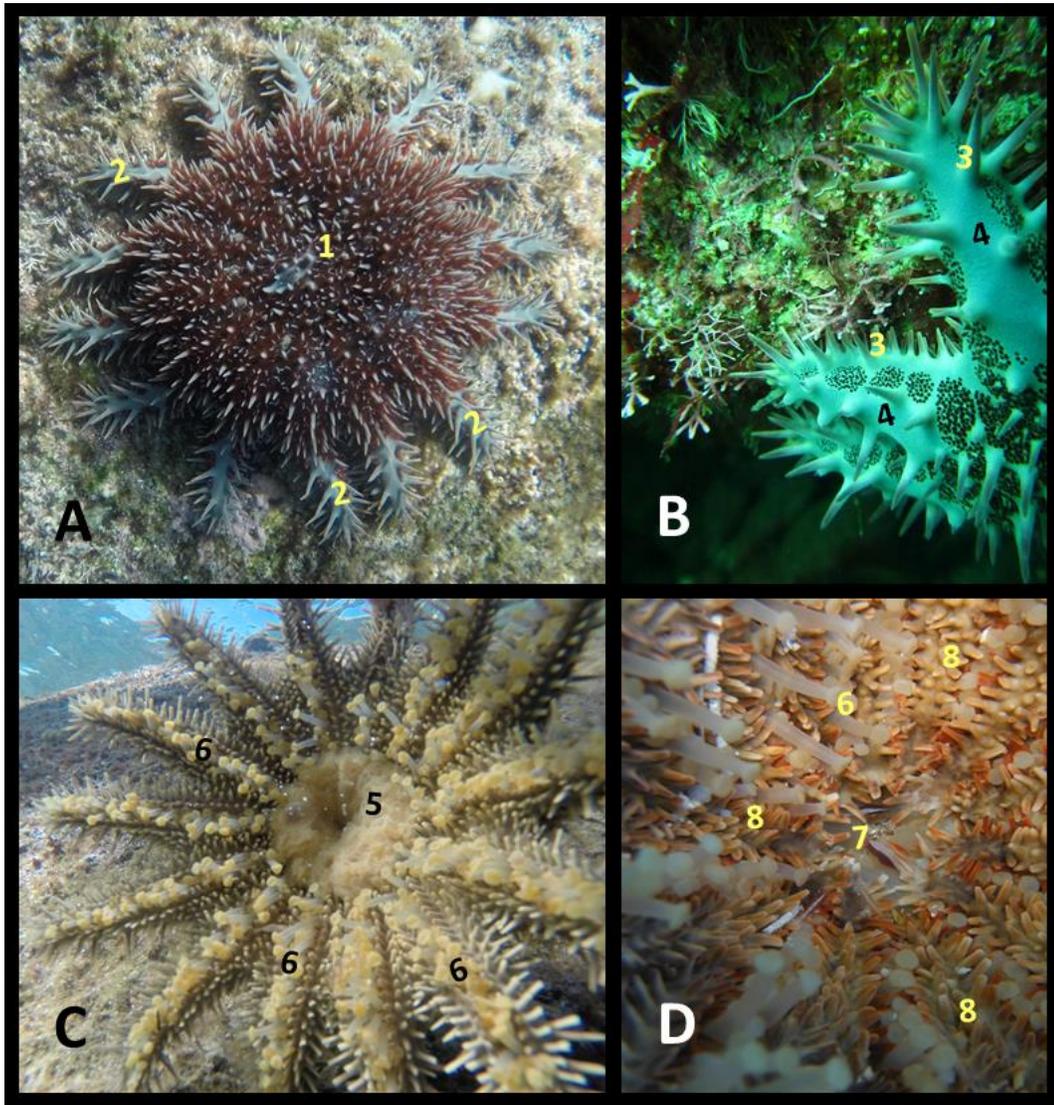


Figura 3. Estrella Corona de espinas (COTS) en el Golfo de California. A. Superficie bacial: 1) Disco, 2) Brazo (Foto: Hernández Morales); B. Brazo dorsal: 3) Espina, 4) Placas basales (Foto: Vázquez-Arce); C. Superficie actinal: 5) Estómago, 6) Pies ambulacrales (Foto: Hernández Morales); D. Zona oral: 7) Boca, 8) Espinas actinales (Foto: Vázquez-Arce).

En México existe la discrepancia en la identidad taxonómica de *A. planci*, por lo tanto, se realizó un análisis genético para determinar su identidad taxonómica. Para esto se seccionó uno de los brazos de cada individuo recolectado y se realizaron cortes de los pies ambulacrales los cuales fueron depositados en tubos Eppendorf con etanol al 96% para su análisis en el laboratorio. Se seleccionaron nueve individuos con las mejores condiciones de preservación y representativos del área de estudio (Tabla 1) para el trabajo genético.

**Tabla 1. Individuos seleccionados para el análisis genético.**

<b>Individuo</b>	<b>Localidad</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (W)</b>
1A	Isla San Pedro Mártir	28.371	-112.298
2A	Puerto Escondido	25.815	-111.309
3A	Farallón, Sinaloa	25.435	-109.374
4A	Isla de San Mateo	25.378	-110.992
5A	Las Ánimas	25.113	-110.507
6A	Isla Espíritu Santo	24.474	-110.289
7A	Isla Gaviotas	24.287	-110.340
8A	Canal de San Lorenzo	24.386	-110.315
9A	Punta Arenas	24.043	-109.824

En el laboratorio, el ADN de cada muestra se purificó empleando un Kit de extracción DNeasy Blood & Tissue (QIAGEN®) siguiendo los pasos incluidos en el protocolo del fabricante.

Posteriormente, se realizó la amplificación de un fragmento de la Subunidad I del gen Citocromo Oxidasa (COI) del ADN mitocondrial (ADNmt) por la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) empleando los cebadores o “primers” (COTS\_COI\_F4734 5'-GCCTGAGCAGGAATGGTTGGAAC-3' y COTS\_COI\_R5433 5'-CGTGGGATATCATTCCAATCCTGG-3') propuestos por Vogler *et al.* (2008).

Para identificar las condiciones óptimas de reacción se utilizó un sistema de gradiente de temperatura (58°C y 55°C) utilizando cuatro muestras al azar. Una vez detectada la temperatura de alineamiento óptima (58°C), se procedió a amplificar el resto de las muestras. Todas las reacciones de PCR se llevaron a cabo en un volumen final de 25 µl por muestra conteniendo una mezcla de:

- 5.0 µl de Buffer *Taq* (5X -mg)
- 0.5 µl de dNTPs (10mM)
- 0.6 µl de cada iniciador (10mM)
- 8.05 µl de H<sub>2</sub>O milli-Q
- 4.0 µl de MgCl<sub>2</sub> (25 mM)
- 5.0 µl BSA (0.2%)
- 0.25 µl de *Taq* polimerasa (5 U/µl)
- 1 µl ADN extraído.

El protocolo de PCR fue el siguiente: 3 min a 94 °C para la desnaturalización, seguido de 35 ciclos, cada uno de los cuales, integrado por 45 seg a 94 °C, 45 seg a 58 °C para el alineamiento y 45 seg a 72 °C para la extensión. Después de concluir los 35 ciclos, se utilizarán 5 min a 72 °C para realizar una extensión final.

La amplificación fue confirmada mediante electroforesis en gel de agarosa al 1%. Los geles fueron teñidos empleando 1 µl de GelGreen™<sup>®</sup> por cada 50 ml de gel. La visualización se realizó utilizando un transiluminador UV Labnet<sup>®</sup>.

Todos los productos amplificados de manera exitosa fueron secuenciados en ambos sentidos por MacroGen Inc. en Corea del Sur (<http://www.macrogen.com>).

Las secuencias obtenidas fueron editadas empleando el programa ChromasPro 2.1.6. Posteriormente, se alinearon junto con las secuencias de las cuatro especies (Vogler *et al.*, 2008) disponibles en el GenBank empleando el algoritmo de Clustal W (Thompson *et al.*, 1994), implementado en el programa MEGA 7.0.26. Con este programa se construyó un cladograma utilizando el modelo de sustitución de Kimura-2 parámetros (K2P) (Kimura, 1980) y el método de *Neighbor-Joining* (Saitou & Nei, 1987).

## **Abundancia**

Para la estimación de la abundancia (2004-2016) se realizaron transectos de banda de 25 x 2 m (50 m<sup>2</sup> por transecto). Este método consiste en usar una cinta métrica en dirección paralela a la costa, registrando a los individuos que se encuentran en un intervalo de 1 metro a cada lado del transecto.

### **Análisis de datos**

Se estimó la densidad, la cual consistió en el número de individuos contados dentro del transecto, dando como resultado individuos por metro cuadrado por cada uno de los transectos realizados (ind/m<sup>2</sup>).

Con la finalidad de conocer si hay diferencias significativas con respecto a la abundancia entre los años de estudio, y debido a que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad o los criterios de homogeneidad de varianza, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para determinar el origen de esas diferencias se utilizó la prueba *a posteriori* de Nemenyi con modificación de Dunn (Zar, 2009). Para determinar si existía un patrón latitudinal de la abundancia de la estrella se graficaron los datos con respecto a los grados de latitud.

### **Tamaño de la estrella *A. planci***

Para determinar el tamaño de los individuos en campo, con una cinta métrica flexible (precisión 1.0 mm) se midió el diámetro del disco (**D<sub>d</sub>**), el cual va de lado a lado donde inician los brazos (Fig. 4). También se utilizaron fotografías provenientes del archivo fotográfico, considerando aquellas imágenes que contarán con referencia o escala para la obtención del **D<sub>d</sub>**. Para el registro se consideró que los brazos de los individuos estuvieran extendidos para evitar un mayor sesgo en las medidas. La elección del **D<sub>d</sub>** es debido a que es lo recomendable para describir el tamaño en asteroideos de brazos corto (Pratchett *et al.*, 2017).

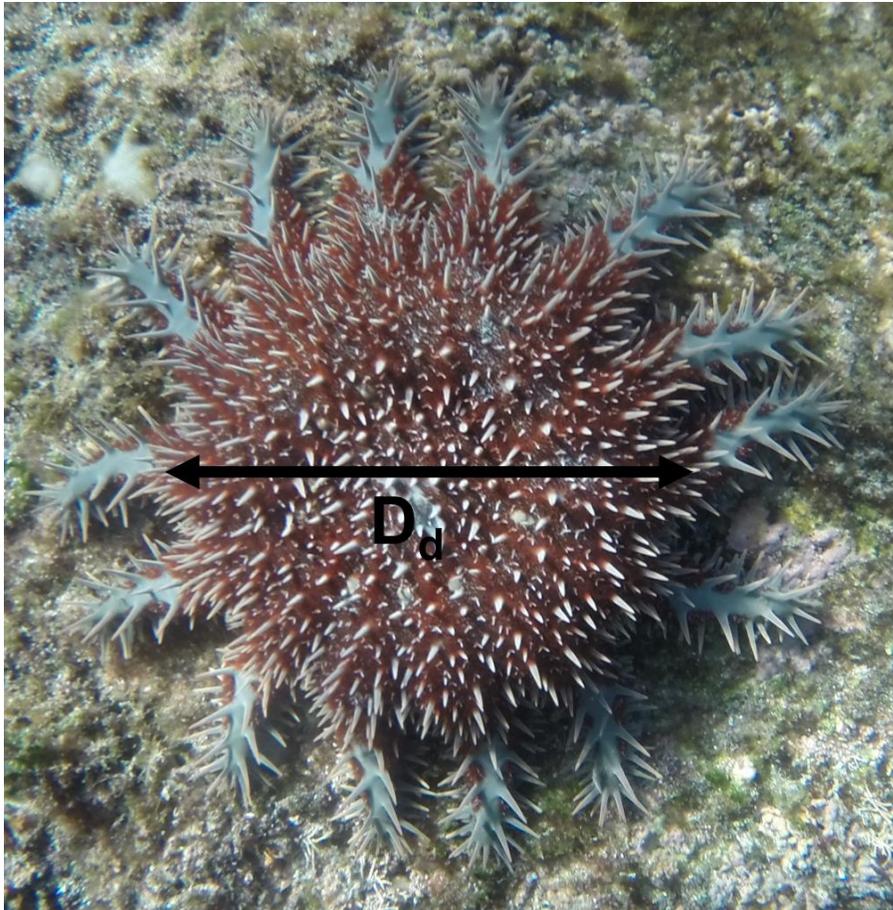


Figura 4. Registro del diámetro ( $D_d$ ) de *A. planici* en las zonas arrecifales del Golfo de California.

### Análisis de datos

A partir de la información del diámetro del disco se obtuvieron las medidas de tendencia central y dispersión (media, moda y error típico). Para obtener la estructura de tallas los datos se agruparon en intervalos de cinco centímetros que se definieron con base en la Regla de Sturges y que se representaron en un histograma de frecuencia:

$$k = 1 + \log_2(N)$$

Dónde  $k$  es el número de clases y  $N$  es el número total de observaciones de la muestra.

Para conocer la posible etapa y edad en la que se encuentran los individuos registrados para este estudio, se siguió la metodología propuesta de Miller *et al.* (2003), la cual consiste en conocer el tamaño del individuo (diámetro del disco) y compararla con intervalos de clase ya establecidos para poblaciones de COTS de la Gran Barrera Australiana (Tabla 2).

**Tabla 2. Tamaño de las etapas de vida de COTS.**

<b>Tamaño</b>	<b>Categoría</b>
<= 5 cm	Juvenil Temprano
6-15 cm	Juvenil
15-25 cm	Sub-Adulto
>25 cm	Adulto

Se observó una agrupación en los datos de las tallas en dos zonas del G. C.: la zona Sur que se ubica entre los 24°N y los 25°N, y la zona Norte de los 26°N a los 28°N. Para conocer si hay diferencias significativas entre estos dos grupos, se aplicó la prueba T de Student (Zar, 1999).

### **Tipo de alimentación**

Para identificar el tipo de alimentación de la estrella Corona de espinas contamos con un registro fotográfico de 510 imágenes *in situ* de COTS del periodo 2004 al 2017.

De todas las fotografías se seleccionaron aquellas donde la estrella se estuviera alimentando. Para reducir el sesgo en el análisis se siguieron los siguientes criterios para identificar la dieta de la estrella.

- a) Que la estrella esté completamente visible.
- b) Que se encuentre en postura de alimentación, en donde el individuo posee apariencia globosa o inflada y cubriendo al organismo que va a consumir. El estómago es evertido sobre el alimento para posteriormente liberar enzimas

digestivas que degradan el tejido. Una vez hecho esto, el alimento es adsorbido hacia su boca (Fig. 5).

- c) Que el organismo del cual se estaba alimentando sea detectable.
- d) En el caso de no ser visible el organismo del cual se estaba alimentando, fue necesario que la estrella fuera volteada para fotografiar la parte oral del individuo, con la intención de observar restos de organismos en el estómago evertido.

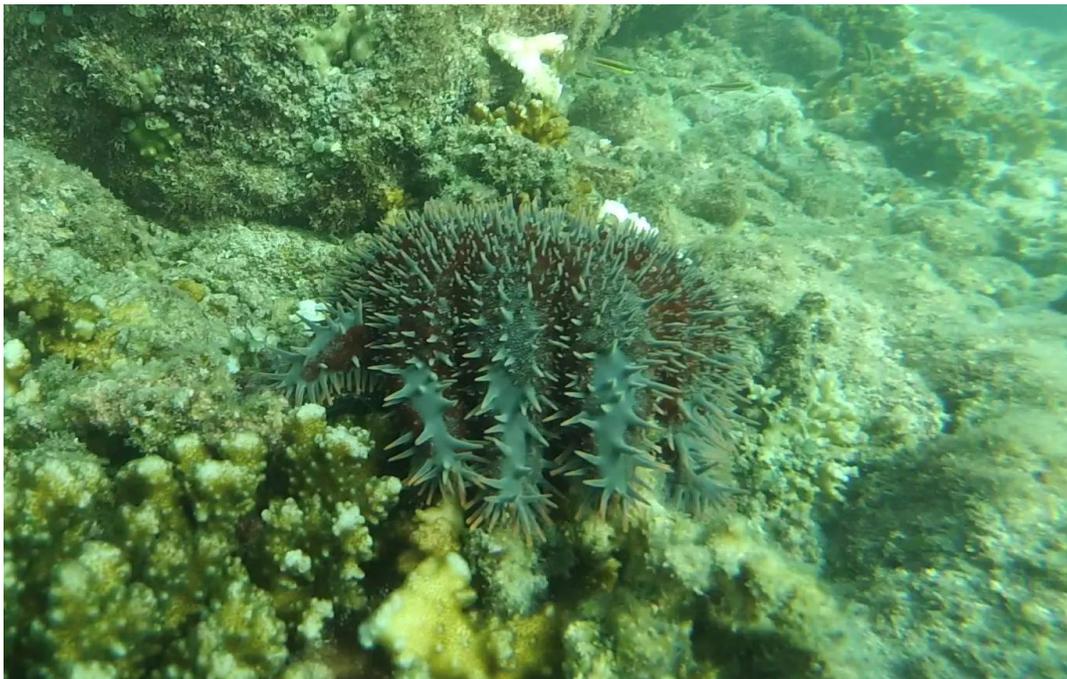


Figura 5. Postura de alimentación de *A. planci*. Foto: Reyes-Gálvez.

Se identificó el tipo de alimento hasta el nivel taxonómico posible con apoyo de literatura especializada: Brusca (1973); Abbott & Hollenberg (1992); Mora-Navarro *et al.* (2006); Hickman (2008). Posteriormente se determinó la frecuencia del alimento, que consistió en el conteo de la presa observado en cada fotografía. Se comparó la frecuencia del tipo alimento en relación con el gradiente latitudinal para la distribución del alimento en el G.C.

## 7. Resultados

### 7.1 Descripción de COTS

El diámetro oscila entre 4 a 36 cm. Presenta de 9 a 17 brazos. Disco relativamente grande, con presencia de espinas cortas, gruesas y dispersas. No se observó una relación entre el tamaño y el número de brazos. Los brazos presentan espinas largas de color gris y con las puntas rojizas o anaranjadas. Las espinas de la superficie dorsal del cuerpo son rectas o inclinadas. El número de madreporitas es variable, pero puede tener entre una a más de siete. Se observa una madreporita en el centro del disco sobre una placa calcárea gris. En la parte oral del disco se observan los pies ambulacrales, los cuales se localizan a lo largo de los brazos y llegan hasta la boca. Los pies ambulacrales son largos (>2 cm) de color beige. Muestra un estómago de color amarillo, de textura suave, con un tamaño similar al cuerpo del organismo. Se libera al momento de la alimentación, cubriendo a la presa para su digestión. Su coloración va de rojo a naranja intenso, así como tonos grises en el disco. En ocasiones presenta un patrón de banda circular en el disco, con tonos rojizos y anaranjados, así como una coloración gris en el centro del disco.

### 7.2 Identidad taxonómica

Se realizó un análisis comparando nueve secuencias provenientes del Golfo de California con 24 secuencias obtenidas del GenBank (33 secuencias) del gen COI, incluyendo COTS distribuidos en el Indo-Pacífico, con una longitud de 632 bp. (Fig. 6). Con base en el cladograma se observa que los individuos de COTS se separan en cuatro grupos principales: Pacífico, Mar Rojo, Índico Norte e Índico Sur. Los individuos del G.C. se asociaron con el grupo del Pacífico el 99% de las veces en el árbol filogenético. Entre los individuos del G.C. se observa una asociación de 84%, a excepción del organismo de Puerto Escondido, el cual presentó mayor relación con Moorea (Polinesia) con el 99%. Por lo tanto, para este estudio se considera a los individuos del G.C. como la especie *A. planci*, correspondiente al clado del Pacífico.

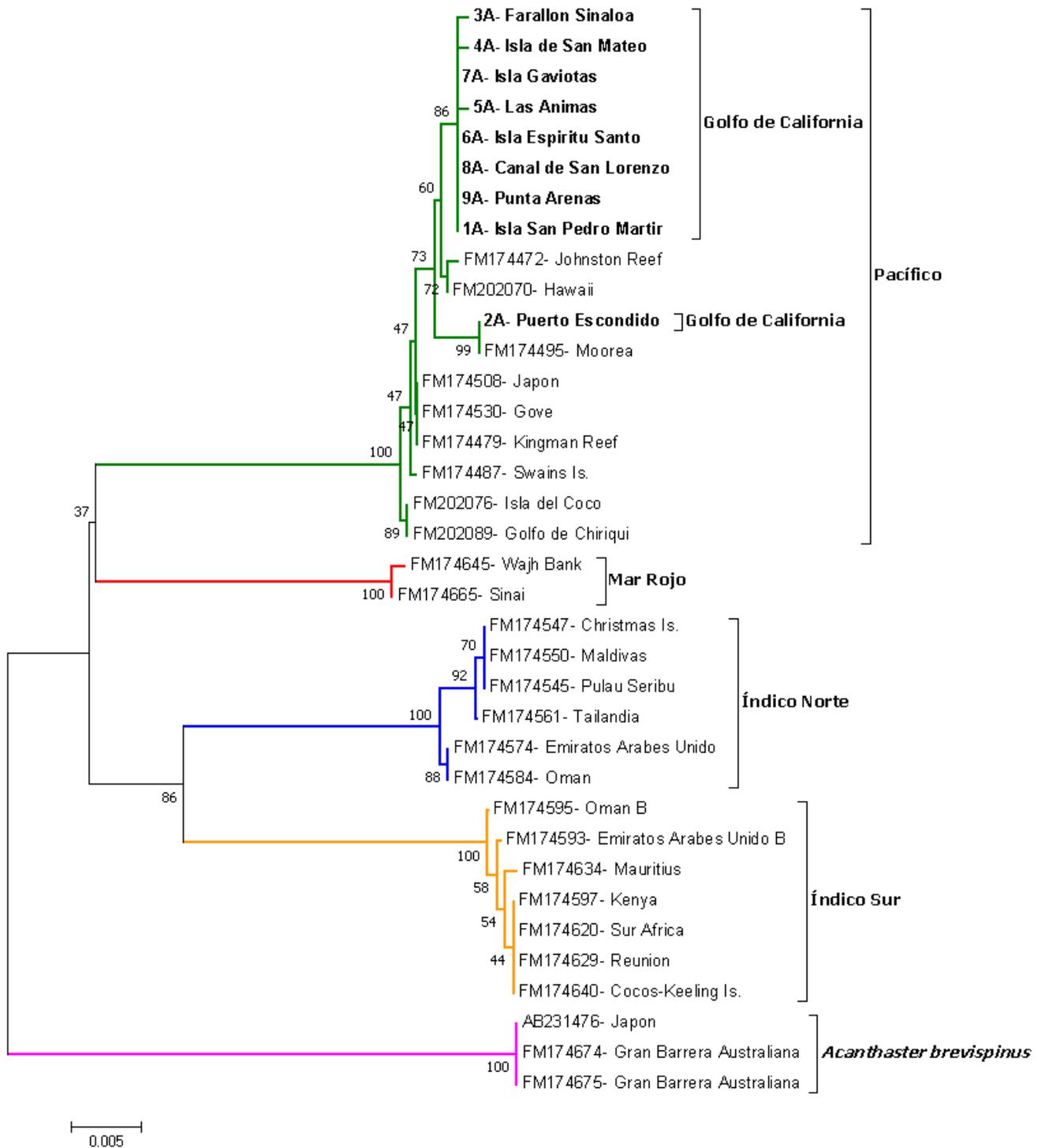


Figura 6. Cladograma que muestra las relaciones genéticas entre los individuos del Golfo de California con los cuatros clados del Indo-Pacífico de *Acanthaster planci*. Secuencias genéticas tomadas del GenBank. Los números representan la robustez de remuestreo.

### 7.3 Distribución

De acuerdo con los registros realizados durante los monitoreos, la especie *A. planci* se encuentra desde los 18° Norte (Islas Revillagigedo) hasta los 28° Norte, región de las Grandes Islas en el Golfo de California. Se ubicaron con mayor frecuencia en islas costeras (p. ej. San Pedro Nolasco, Tortuga, Espíritu Santo, Loreto, Cerralvo) y oceánicas (Isla Socorro e Isla Clarión), así como a lo largo de la línea de costa asociada a la zona arrecifal, aunque en dos ocasiones se le encontró en zonas de arenosas alejadas del arrecife (Punta Arenas).

### 7.4 Abundancia

Se analizó la información proveniente de 1,075 transectos equivalentes a un área de muestreo de 54,060 m<sup>2</sup> para el periodo de estudio (2004-2016). Se obtuvo un total de 2,680 individuos contabilizados con una densidad promedio por transecto de  $2.493 \pm 0.089$  ind/trans.

Al analizar en el tiempo, el año con menor abundancia fue 2005 con 13 individuos, mientras que el 2008 fue el de mayor con 756 individuos (Fig. 7). Se observa que las abundancias de COTS cambian con el tiempo, entre el 2006 y 2008 hay un aumento en el número de individuos de aproximadamente 100 organismos por año; posterior al 2008 los valores de abundancia disminuyen a solo 200 individuos y en los siguientes periodos la disminución continua.

Con base en el análisis estadístico, la abundancia mostró diferencias significativas entre los años de muestreo ( $\chi^2_{11,1,075}=123.22$ ;  $p<0.000$ ) y de acuerdo con la prueba *pos-hoc* el año 2006 fue el origen de las diferencias.

Para el caso de la densidad tenemos un valor promedio de  $0.050 \pm 0.001$  ind/m<sup>2</sup>. El año con menor densidad fue el 2016 con un valor de 0.023 y el máximo con un valor de 0.071 en el 2006 (Fig. 8). Las COTS del Golfo de California presentan una densidad de menos de un individuo por m<sup>2</sup>. A excepción del 2006, 2007, 2008 que parecieran años anómalos, el resto de los periodos ha tenido valores constantes de densidad. Se puede observar que las densidades de COTS han tenido incrementos, como fue del

2005 al 2006, que pasó de un valor de 0.026 a 0.71 ind/m<sup>2</sup>, representando más del doble de densidad, mientras que al siguiente año (2007) la densidad de COTS bajó a 0.047 ind/m<sup>2</sup> para posteriormente volver a incrementar a 0.064 ind/m<sup>2</sup>.

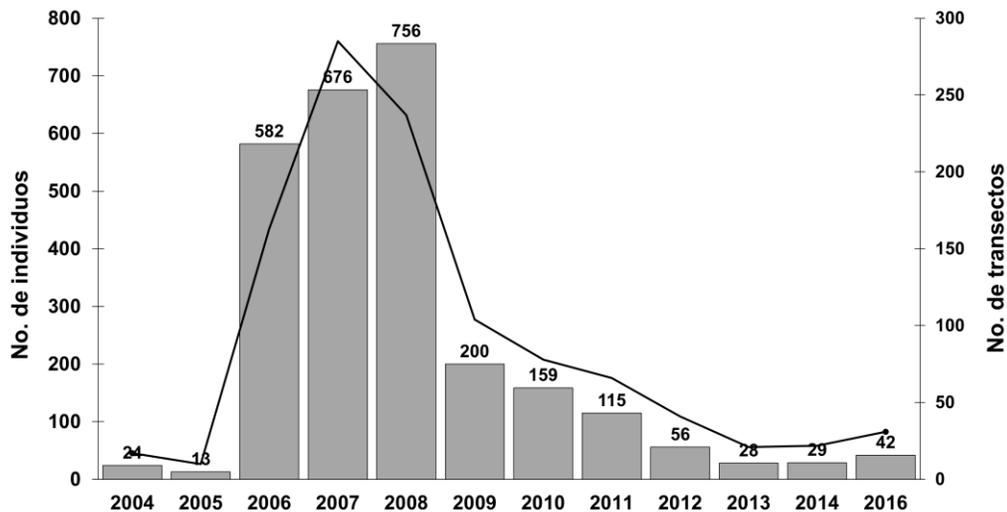


Figura 7. Abundancia de COTS durante el periodo de estudio en el Golfo de California. La línea representa el esfuerzo de muestreo.

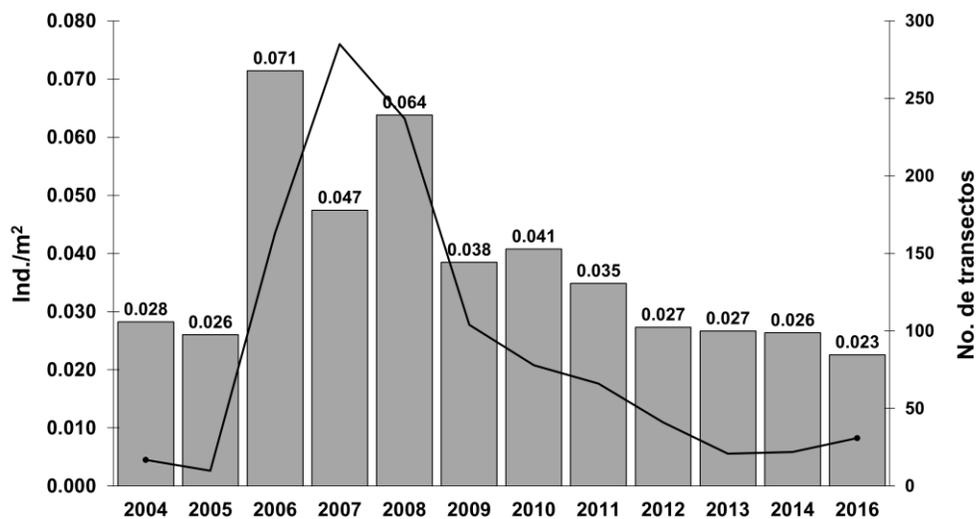


Figura 8. Densidad de *A. planci* en el periodo analizado. La línea representa el esfuerzo de muestreo.

Con relación a la distribución de la abundancia, el mayor número de individuos de COTS se detectó entre los 24°N y 27°N, sin embargo, los valores más altos se observaron entre los 24°N y 25°N (Fig. 9), al parecer los individuos se distribuyen con mayor abundancia hacia el sur del Golfo.

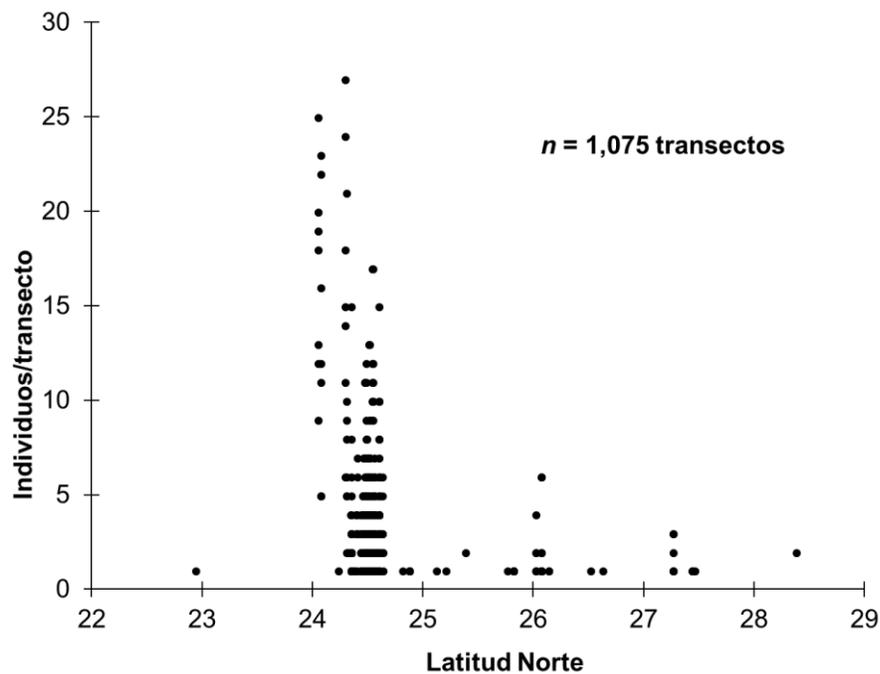


Figura 9. Distribución de la abundancia de COTS con respecto a la latitud en el Golfo de California en el periodo 2016.

### 7.5 Diámetro de la estrella

Se midió un total de 493 estrellas para el periodo de estudio 2008, 2015, 2016 y 2017. Se obtuvo un promedio del diámetro del disco de  $17.23 \pm 0.22$  cm, un mínimo de 4.5 cm y un máximo de 36 cm, así como una moda de 15 cm entre los intervalos de 15 a 20 cm (Fig. 10). El 83% del total de los individuos medidos se encontraron en el intervalo de 15 a 25 cm.

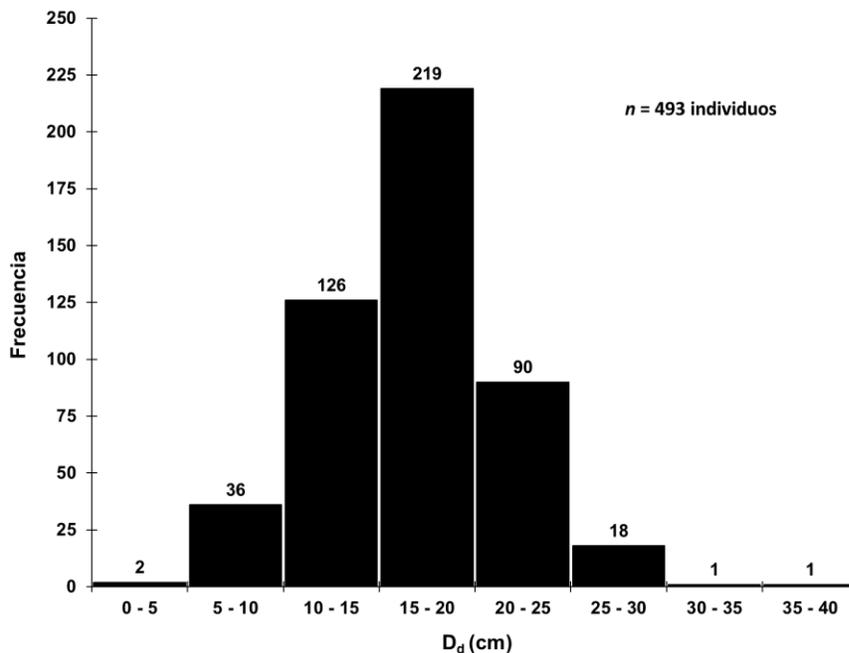


Figura 10. Frecuencia del diámetro de *A. planci* ( $D_d$ ) en el Golfo de California durante el 2008, 2015, 2016 y 2017.

La analizar la distribución de las tallas de la estrella en el G.C. se observaron dos zonas bien definidas (Fig. 11): una zona que podemos denominar Sur (ZS), ubicada entre los 24° y los 25° N; y una Norte (ZN), de los 26° a los 28° N.

Considerando que solo se cuenta con el  $D_d$  representativo para el periodo 2016 que incluyó la zona arrecifal del Golfo de California, se analizó gráficamente su distribución y se detectó que el  $D_d$  fue mayor en la ZS y menor en la ZN. En la figura (12) se observa que conforme aumenta la latitud los individuos alcanza un  $D_d$  más pequeño. En la ZS se registró un total de 19 individuos, con un diámetro promedio de  $13.08 \pm 0.16$  cm, un mínimo de 6 y una máxima de 26 cm, así como una moda de 17 cm entre los intervalos de 15-20 cm. En la ZN se midieron 14 estrellas, con una media de  $8.93 \pm 1.19$  cm, un diámetro mínimo de 4.5 y un máximo de 17.5 cm. La moda estuvo entre los intervalos de 6 a 10 cm con un valor de 6 cm. Se encontró una diferencia significativa en la distribución del G.C., de acuerdo con la prueba de T de student ( $t_{2, 33}=2.49$ ;  $p=0.01$ ). Lo que indica que existe una diferencia de tamaño entre los individuos de COTS en las dos zonas (norte vs sur) en el G.C.

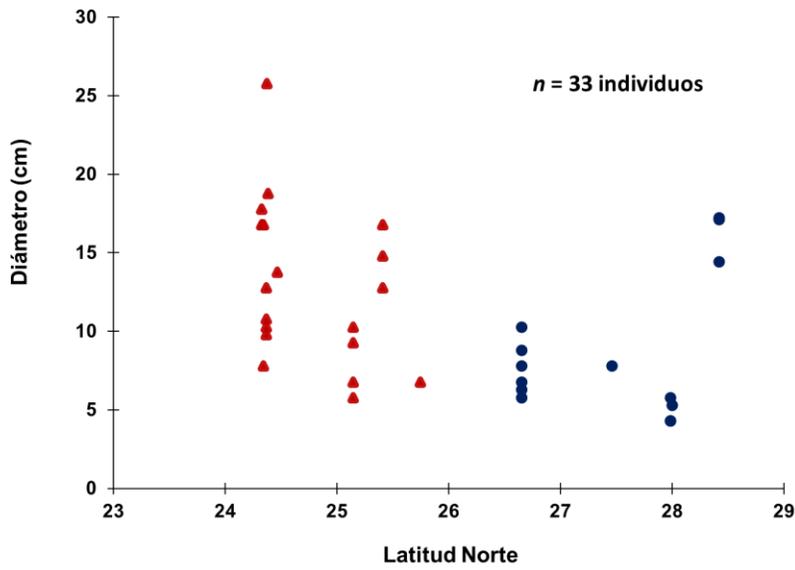


Figura 11. Distribución del diámetro de *A. planci* con respecto a la latitud en el Golfo de California en el periodo 2016.

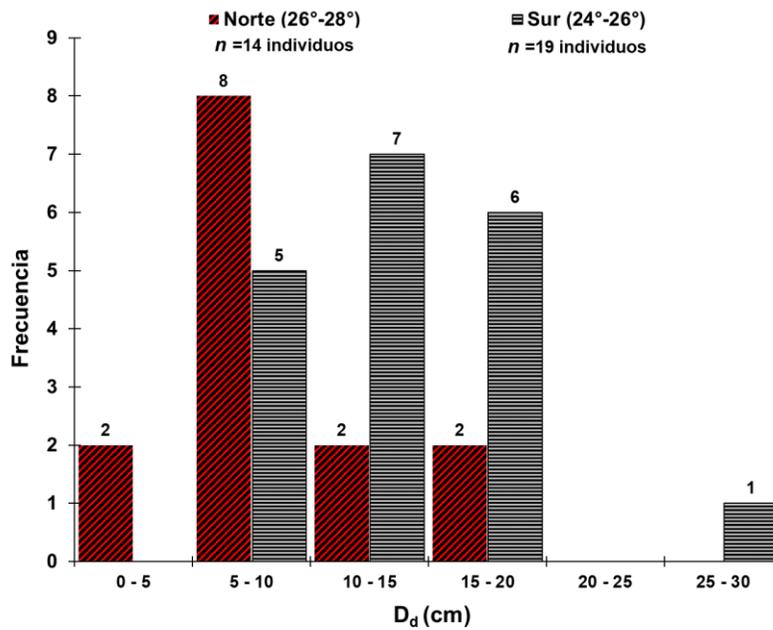


Figura 12. Distribución del diámetro de COTS en el periodo 2016 para el Golfo de California.

De acuerdo con Miller *et al.* (2003) el 63% de los individuos que midieron entre 16 y 25 cm pueden considerarse dentro de la etapa de sub-adultos, que apenas estarían comenzando a reproducirse. Las etapas menos representativas fueron juvenil temprano con el 1%; y adulto con el 4% (Tabla 3).

**Tabla 3. Etapas de vida de COTS en el Golfo de California utilizando los criterios de Miller *et al.*, 2009.**

<b>Intervalo (cm)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>	<b>Etapas</b>	<b>%</b>
<b>0-5</b>	2	0.41	Juvenil temprano	1
<b>6-10</b>	36	7.30		
<b>11-15</b>	126	25.56	Juvenil	32
<b>16-20</b>	219	44.42		
<b>21-25</b>	90	18.26	Sub adulto	63
<b>26-30</b>	18	3.65		
<b>31-35</b>	1	0.20	Adulto	4
<b>36-40</b>	1	0.20		
<b>Total</b>	493	100		100

En ambas zonas predominaron organismos de menor tamaño, los cuales consideramos como juveniles (Fig. 13). En la ZN se observa la aparente presencia de individuos juveniles tempranos y la ausencia de adultos, a diferencia de la ZS donde se observó lo contrario.

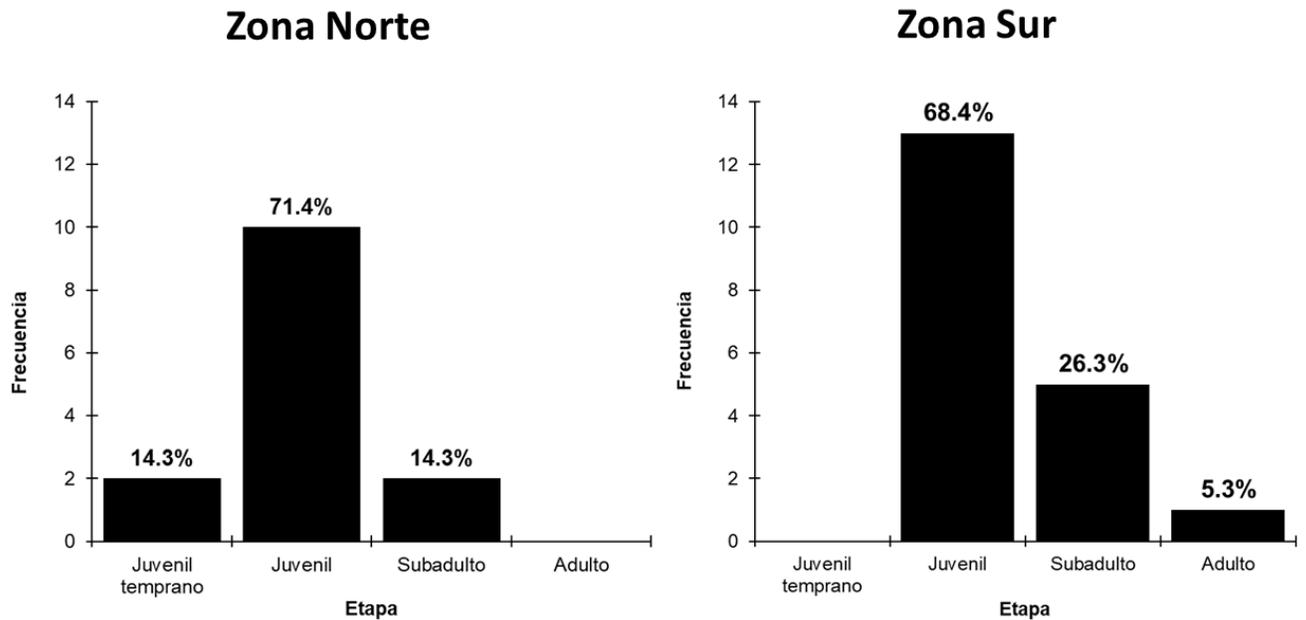


Figura 13. Frecuencia de las etapas de vida de *A. planci* en el área de estudio de acuerdo con la clasificación de Miller *et al.*, 2003.

## 7.6 Alimentación

De un total de 510 fotografías analizadas de estrellas, solo fue posible identificar a 66 individuos para el análisis de la alimentación.

Se detectaron seis tipos de alimento (Fig. 14): corales (hermatípicos y ahermatípicos), algas (tapete de algas, macroalgas y algas coralinas) y briozoarios. Los corales hermatípicos *Porites panamensis* y *Pocillopora* spp. fueron los de mayor consumo con el 71% de individuos alimentándose. Seguido de los corales ahermatípicos y tapetes de algas con el 9% en cada grupo. El 6% correspondió a algas coralinas del género *Jania* sp. mientras que el grupo de macroalgas (*Laurencia* sp.), briozoarios de la clase Gymnolaemata y *Pavona gigantea* Verrill, 1869 se consideraron ocasionales debido al bajo número de individuos alimentándose (1%) (Fig. 14). Cabe mencionar que no fue posible identificar a un nivel taxonómico mayor.

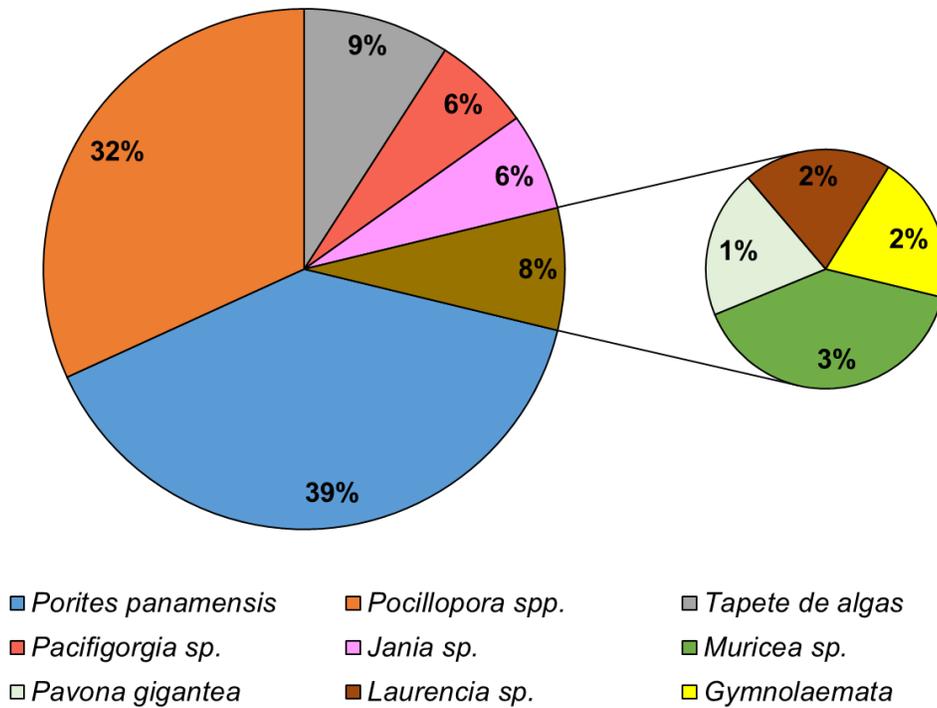


Figura 14. Porcentaje de tipos de alimento consumido por *A. planci* en el Golfo de California.

Al analizar cómo cambia el alimento en relación latitudinal, se puede observar que la mayor variedad de alimento se encuentra de los 24° a los 26° y conforme aumenta la latitud el número de tipos de alimento se reduce. Estos grupos coinciden con las ZN y ZS en la distribución.

Se observó que las estrellas en latitudes bajas (24°) consumieron diversos tipos de alimento, con marcada preferencia por *P. panamensis* en primer lugar y *Pocillopora spp.* en segundo lugar. Conforme aumenta la latitud, la variedad de alimento se reduce. En latitudes altas (27°) los individuos se alimentaron de *Jania sp.* un tipo de alga coralina, así como de tapetes de algas (Fig. 15).

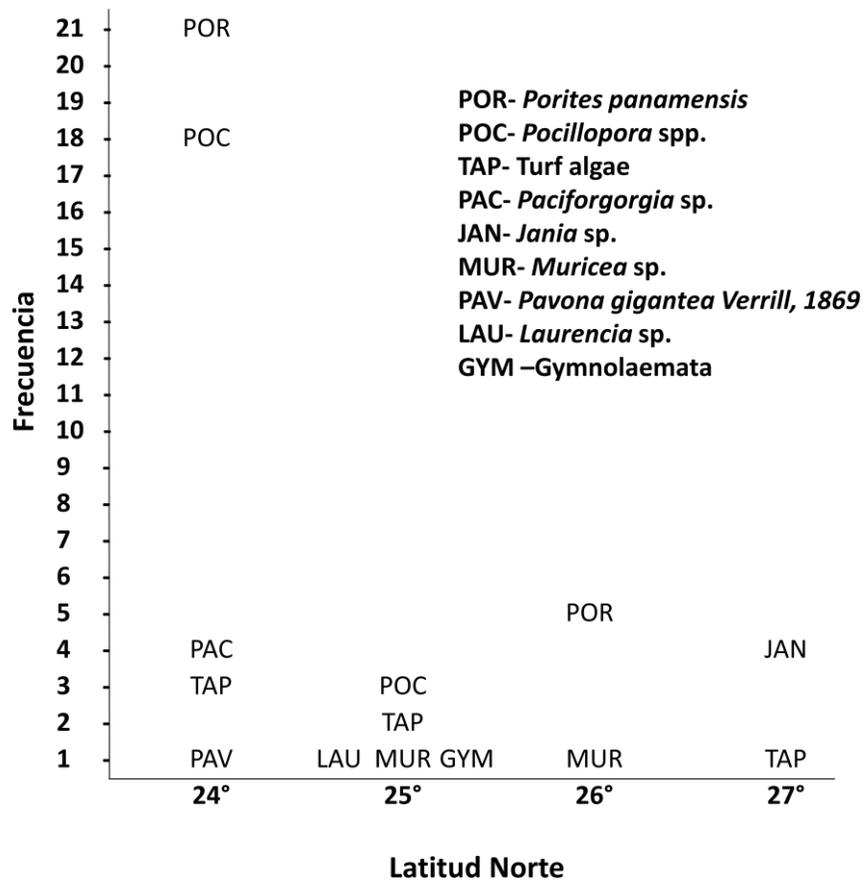


Figura 15. Distribución de los tipos de alimento de *A. planci* con respecto a la latitud en el Golfo de California.

Se observó una mayor variedad del tipo de alimento de las estrellas en la ZS (ocho tipos) que en la ZN (cuatro tipos) (Fig. 16 B). El 46% de los individuos analizados se alimentaron de *P. panamensis* en la zona Norte y 38% en la zona Sur, mientras que el 38% de las estrellas prefirieron *Pocillopora* spp. en la zona Sur, ya que el área de distribución de estas especies se limita hasta los 26° N.

El coral duro, *P. gigantea* también fue identificado como alimento, aunque en porcentaje bajo y solo en la zona Sur (Fig. 16 A). El tapete de algas estuvo presente en ambas zonas con el 9% de las estrellas alimentándose de él (Fig. 16). *Jania* sp., que es un alga coralina presente solo en la ZN fue la segunda dieta preferente con el

36%. El grupo de macroalgas (*Laurencia* sp.) y briozoarios de la clase Gymnolaemata estuvieron presentes solo en la ZS con porcentajes de 1% cada uno.

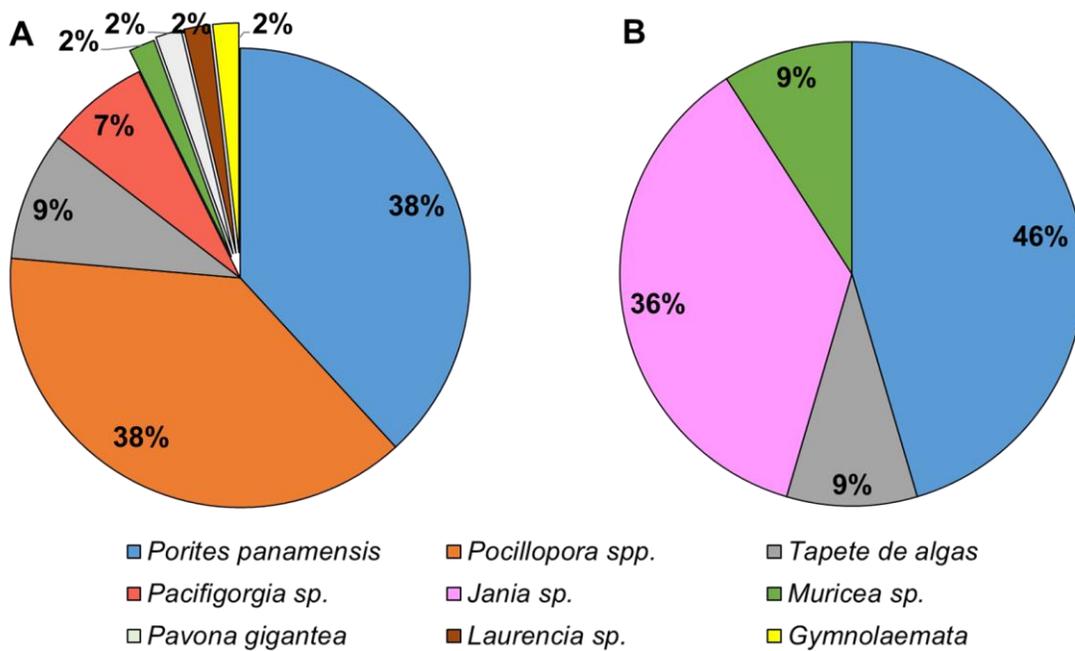


Figura 16. Porcentaje de los tipos de alimento por zona en el área de estudio: A. Zona Sur, B. Zona Norte.

## 8. Discusión

### 8.1 Identidad taxonómica

A partir del análisis genético realizado en el presente estudio, se confirma que los individuos del G.C. pertenecen al clado del Pacífico propuesto por Vogler *et al.* (2008) y comparado con la información registrada en el GenBank (Fig. 6). En consecuencia, podemos decir que se trata de *A. planci*. Cabe mencionar que estudios recientes como los de Haszprunar & Spies (2014) y Haszprunar *et al.* (2017) mencionan que los individuos del Pacífico Occidental y Oriental fueron mal identificados y pertenecen a *Acanthaster cf. solaris*. Los autores mencionan que, durante más de 250 años, los investigadores han insistido en diferencias morfológicas entre los especímenes de COTS en diversas áreas geográficas. Esto ha hecho que se propongan varios taxa (Tabla 4). Para el género *Acanthaster*, sólo se han aceptado tres especies y dos subespecies como válidas.

**Tabla 4. Especies y subespecies reconocidas para el género *Acanthaster* presente en la página de World Register of Marine Species (WoRMS, 2018).**

Especies válidas	Sinonimias
<i>Acanthaster planci</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Asterias planci</i> Linnaeus, 1758 <i>Asterias echinites</i> Ellis & Solander, 1786 <i>Acanthaster echinites</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>Stellonia echinites</i> L. Agassiz, 1836 <i>Echinaster ellisi</i> Gray, 1840 <i>Acanthaster ellisi</i> (Gray, 1840) <i>Asterias echinus</i> Gervais, 1841 <i>Acanthaster echinus</i> Gervais, 1841 <i>Acanthaster mauritiensis</i> de Loriol, 1885 <i>Acanthaster ellisi pseudoplanci</i> Caso, 1962
<i>Acanthaster solaris</i> (Schreber, 1793)	<i>Asterias solaris</i> Schreber, 1793 <i>Echinaster solaris</i> (Schreber, 1793) <i>Echinities solaris</i> (Schreber, 1793)
<i>Acanthaster brevispinus</i> Fisher, 1917	<i>Acanthaster brevispinus brevispinus</i> Fisher, 1917 <i>Acanthaster brevispinus seychellensis</i> Jangoux & Azis, 1894

De acuerdo con Haszprunar & Spies (2014) y Haszprunar *et al.* (2017) la especie *A. cf. solaris* es la especie que se encuentra en el Pacífico Mexicano y que las descripciones de *A. ellisi* (Gray, 1840), *A. pseudoplanci* Caso, 1962 y *A. ellisi pseudoplanci* Caso, 1962 para el Golfo de California corresponde con *A. cf. solaris*. Sin embargo, ninguna de estas se considera válida. Estas propuestas de nuevas identidades, aunque no aceptadas, deja la pregunta de que sean *A. planci* o al menos que sean poblaciones diferentes. Nishida y Lucas (1988), detectan que las poblaciones del G.C. son genéticamente similares a las del Pacífico Occidental (Gran Barrera Australiana, Japón, Islas Polinesias) pese a la gran distancia geográfica entre ella. De acuerdo con esto y junto con el descubrimiento de las cuatro especies en el Indo-Pacífico (Vogler *et al.*, 2008) se tuvo la base para hipotetizar que la especie de COTS del G.C. sea la misma que la del Pacífico. Finalmente consideramos que la especie presente en el Golfo de California es *Acanthaster planci*.

## 8.2 Distribución

Los individuos de COTS estuvieron presentes en la zona arrecifal del Golfo de California, principalmente en zonas rocosas, seguido de áreas con mayor cobertura coralina. De acuerdo a trabajos anteriores, esta especie se ha descrito como organismo arrecifal relacionado a las colonias de coral (Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1994, 1999; Reyes-Bonilla, 2003), sin embargo, es más común encontrarlo en área rocosas cercanas a las colonias de coral o debajo de ellas (Dana & Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010), incluso en sustrato arenoso (Brusca & Thomson, 1975) lo cual corrobora las observaciones hechas de este organismo sobre la arena (Com. Per. Herrero-Perézrul). De acuerdo con Baynes (1999), los individuos de COTS en el G.C. se encuentran con mayor frecuencia en superficies cubiertas por césped de algas y sedimento, con presencia de incrustaciones de algas coralinas y colonias de coral. Este tipo de condiciones son características de las comunidades arrecifales del G.C., lo que hace que esta especie no necesariamente sea organismo arrecifal coralino.

En este estudio se detectó que la estrella *A. planci* se encuentra distribuida en el G.C desde los 22° Norte llegando a alcanzar una distribución hasta los 29° en Bahía de Los Ángeles (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008). Esta distribución coincide con la registrada en el trabajo de Maluf (1988) quien menciona una distribución amplia a lo largo del Golfo y limitada solo hasta los 29° Norte. La limitación en el Norte del Golfo puede deberse a que es una zona que se caracteriza por una gran cantidad de sedimentos provenientes del Río Colorado y la cobertura coralina es limitada en donde las colonias de coral que predominan son *P. panamensis*. En contraste, el resto del G.C. presenta una plataforma irregular con escarpe y la presencia de sedimento es bajo, además en estas zonas la cobertura coralina es mucho mayor, predominando *P. panamensis* y *Pocillpora* spp. (De Lanza Espino, 1991, Reyes-Bonilla *et al.*, 2005a). Debemos recordar que de acuerdo a trabajos previos, *A. planci* es una especie que habita arrecifes coralinos y/o rocosos lo que sustenta lo anteriormente descrito.

### **8.3 Abundancia**

Durante los 12 años de monitoreo, se ha observado que, en promedio, la densidad de *A. planci* es de  $0.050 \pm 0.001$  ind/m<sup>2</sup> a lo largo del Golfo de California. En los años de 2006-2008, tiende a notarse un incremento en el promedio de individuos, lo cual se debe al esfuerzo de muestreo y no al aumento de la población. Estudios en años anteriores mencionan que la Corona de espinas ha mantenido un comportamiento constante respecto a la baja densidad (<1 ind/m<sup>2</sup>) en el G.C. desde los años 70 (Tabla 5).

**Tabla 5. Densidades registradas por diversos estudios de COTS en el Golfo de California.**

Densidad (ind/m <sup>2</sup> )	Zona de estudio (periodo de muestreo)	Referencia
0.0045	Isla San Francisco, Isla San José, Espíritu Santo y Bahía San Gabriel (1970)	Dana & Wolfson, 1970
0.005	Puerto Escondido (1970-1971)	Barham <i>et al.</i> , 1973
0.0053	Espíritu Santo (1978)	De Alba, 1978
0.00019	Cabo Pulmo (1991-1992)	Reyes-Bonilla & Calderón- Aguilera, 1999
0.0041	Bahía de Los Ángeles, Santa Rosalía, Loreto y La Paz (2004)	Reyes-Bonilla <i>et al.</i> , 2005b
0.022	Isla San José, Espíritu Santo y Cerralvo (2005-2007)	Herrero-Pérezrul, 2008
0.0044	Isla San José (1999-2000)	Holguín-Quiñones <i>et al.</i> , 2008
0.39	Loreto y Ligüi (2007)	Luna-Salguero & Reyes- Bonilla, 2010
0.020	La Paz y Loreto (2005-2009)	Murillo-Cisneros, 2012
0.037	Cabo Pulmo (2013)	Rodríguez-Villalobos <i>et al.</i> , 2015

En este contexto, podemos decir que la corona de espinas en el G.C. posee una densidad moderada, característica de una “Población persistente”. Este concepto fue descrito por Moore (1990) en su estudio, donde menciona que esta población se debe a la relativa estabilidad en su densidad (10-100 ind/ha<sup>-1</sup>). Asimismo, menciona

que una población se mantiene estable debido a la hidrodinámica de la zona, la cual influye con regularidad en el reclutamiento de los individuos, es decir, que las poblaciones persistentes se encontrarán en áreas donde se inhibe el desplazamiento de las larvas por las corrientes (MacNeil *et al.*, 2016) lo que impide que los juveniles se congreguen en una sola área y sean transportados a otros sitios. En el Golfo de California, la entrada de larvas a causa de las corrientes de California y Norecuatorial es limitada por la topografía, remolinos y frentes de la parte sur (De la Lanza-Espino, 1991). En el centro la presencia de surgencias causa un efecto de distribución hacia el norte y sur de California (De la Lanza-Espino, 1991), lo que resulta en que los individuos no se agrupen en la zona.

Dado que las poblaciones de COTS en el G.C. son de la especie del Pacífico (Vogler *et al.*, 2008), las cuales llegan a tener densidades por arriba de 10 ind/m<sup>2</sup> (Pratchett *et al.*, 2009; Bruckner, 2013) en el Golfo se comporta diferente, siendo muy similar a un equinodermo arrecifal, es decir 1 ind/m<sup>2</sup> (Herrero-Pérezrul, 2008). Esto ya se había observado en zonas no dañadas de la Gran Barrera Australiana por *A. planci*, donde la densidad es de 0.06 ind /ha<sup>-1</sup> (Endean 1974; Moore, 1990), así como en un estudio de Birkeland (1982), donde reportó en la isla de Guam un total de menos de 20 individuos durante 120 h de buceo de 1975 a 1979, los mismos sitios donde aparecieron grandes brotes en 1967 y 1979. Lo anterior indica que las poblaciones de COTS del Pacífico en situaciones estables se comportan de la misma manera que un equinodermo arrecifal con bajas densidades, pero debido a cambios favorables en el ambiente (eutrofización, baja mortalidad, mayor disponibilidad de alimento) se pueden incrementar de manera exponencial.

#### **8.4 Diámetro**

En el G.C., la especie *A. planci* posee tallas de 4.5 a 36 cm de diámetro de disco, con un promedio de 17.23 cm. En trabajos anteriores, registran tallas de 6.2 a 21 cm para el centro (Loreto) y Sur del G.C. (La Paz, Isla Espíritu Santo, Cabo Pulmo, Loreto) (Caso, 1962; Dana y Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973; Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1999). De acuerdo con lo anterior el intervalo de tamaño de COTS

reportados para este estudio es mayor que en el reportado por otros estudios para el G.C. En el Indo-Pacífico las poblaciones de COTS presentan tallas promedio de 30 a 40 cm de diámetro e incluso individuos que alcanzan los 50 cm (Keesing & Lucas, 1992; Pratchett *et al.*, 2017). Teniendo en cuenta esto y que se trata de la misma especie, se sugiere que los individuos del G.C. tendrían la capacidad de alcanzar tallas similares, lo cual dependerá probablemente de las condiciones ambientales y del alimento (Moran, 1990; Bruckner, 2013)

El tamaño de la estrella *A. planci* juega un papel importante en la pérdida de cobertura coralina, es decir, a mayor tamaño más alimento se requiere consumir. En el trabajo de Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera (1999) se realiza la estimación de alimento diario de *A. planci* en el arrecife de Cabo Pulmo, obteniendo un consumo diario individual de 118.4 cm<sup>2</sup> para un individuo promedio de 13.8 cm de diámetro. Lo anterior da una idea del efecto en la cobertura coralina al incrementar la abundancia de organismos de mayor talla, sin embargo, esto es poco probable en el Golfo, debido a la poca abundancia de COTS en las comunidades arrecifales, evidencia de ello es la densidad registrada (<1 ind/m<sup>2</sup>), y que además la especie tiene preferencia por otros grupos como son las algas.

El análisis de distribución latitudinal de las tallas muestra una segregación espacial de *A. planci* en el Golfo de California, observándose que al Norte prevalecen organismos de menor tamaño, con un intervalo de 4.5 a 17 cm, mientras que al Sur los tamaños son mayores (6-26 cm). Esto quiere decir que conforme aumenta la latitud encontraremos organismos más pequeños. Sin embargo, después de los 28° se han observado organismos más grandes (>17 cm) (Herrero-Pérezrul M.D., Paz-García D.A. Com. Pers.). Estas segregaciones pueden ser debido a la disponibilidad de alimento, ya que coinciden en la distribución de los grupos encontrados en este estudio; al Sur con la mayor variedad (24° a 26°) dónde los individuos son grandes, mientras que al Norte (26°-28°) hay disminución de tipos de alimento y menor talla de organismos. Lo anterior soporta la relación que existe entre la talla y la disponibilidad de alimento. Otro factor que influye en la distribución son las condiciones oceanográficas. Al centro del G.C. se presentan surgencias, lo que resulta en una zona

rica en nutrientes, debido a las corrientes estos nutrientes son desplazados hacia el Norte y Sur lo cual resulta que a lo largo de Golfo la productividad cambie lo que permite la variabilidad en el alimento. Las corrientes, además de trasladar el alimento son un medio de distribución de las larvas de *A. planci* en el Golfo, principalmente en las zonas más productivas (Bahía La Paz), lo cual permitirá una mayor supervivencia.

## 8.5 Alimentación

Para este estudio se encontró que la alimentación de COTS en el Golfo de California está conformada por invertebrados, como corales y briozoarios (ambos organismos coloniales), así como algas del tipo coralina, macroalgas y tapetes. Además de que se alimenta principalmente por *P. panamensis* a lo largo de G.C., así como en menor preferencia por corales del género *Pocillopora*, gorgonias (*Eugorgia* sp. y *Pacifigorgia* sp.) y anémonas (*Palythoa ignota* Carlgren, 1951) (Dana y Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973; De Alba, 1978; Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1994; Herrero-Pérezrul, 2008). Si bien es cierto que este tipo de alimentación generalista ya se había registrado en otros estudios, este es el primero en estar dirigido hacia la alimentación de este organismo.

En el G.C. los corales hermatípicos más frecuentes y abundantes son del género *Porites* y *Pocillopora*. Este último forma grandes agregaciones en la zona, por lo que podría considerarse una presa viable. Sin embargo, *A. planci* tiene preferencia por *P. panamensis* aún en presencia de *Pocillopora* spp. Algunos autores como Keesing (1990), Moran (1997), sugieren que, a pesar de preferir corales ramificados, se llegan a alimentar de corales masivos (como *Porites panamensis* en el Golfo de California) ya que les da una mayor área para evertir su estómago.

Además de esto, se observó a las algas (tapetes, coralinas y macroalgas) como alimento ocasional, lo cual es interesante, considerando que *A. planci* se ha descrito como especie depredadora de coral (Glynn, 1974). Lo anterior ya se ha registrado en otros trabajos, en los cuales mencionan que se encontrado consumiendo algas frondosas del género *Padina* sp. (Dana y Wolfson, 1970; Barham *et al.*, 1973).

Algunos estudios describen a los individuos en zonas con cobertura coralina, del mismo modo que en superficies cubiertas de algas tipo tapetes y coralinas (Brusca & Thomson, 1975; Baynes, 1999), donde la disponibilidad de tejido coralino es limitada optando por otro tipo de alimento. Considerando que la cobertura coralina en el G.C. es baja, que va de 1 al 10 % (Dana y Wolfson, 1970; Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1999; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005a), y que la dieta de la estrella depende de la frecuencia y disponibilidad del alimento, al no encontrarse en esas condiciones, se ve forzada a elegir otro tipo de alimento como son tapetes y algas coralinas. Esta conducta muestra que es un equinodermo “oportunista”, lo que explica las dietas ocasionales de macroalgas, briozoarios y *P. gigantea*.

En los arrecifes coralinos del Indo-Pacífico donde la cobertura coralina ha sido descrita como > 60% (Bruno y Selig, 2007), *A. planci* tiende a alimentarse estrictamente de corales hermatípicos como *Acropora* spp., *Montipora* spp. y *Pocillopora* spp. (Moran, 1988; Keesing, 1990, Chess *et al.*, 1997; Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2014; Clements & Hay, 2015). Sin embargo, en condiciones de cobertura de coral baja o en las últimas etapas de un “outbreak” donde la disponibilidad de presas se reduce; se puede dar un cambio en la alimentación, prefiriendo dietas alternativas (Moore, 1990) como son octocorales (Nephtheidae, *Xenia* spp.), algas coralinas e incluso ellos mismos (canibalismo) (Barnes, 1966; Wilson & Marsh, 1974 citado por Moore, 1990; Moore, 1990).

Como ya se mencionó anteriormente, la presencia de la estrella *A. planci* en el Golfo es influenciada por la distribución y disposición de los corales hermatípicos (*P. panamensis* y *Pocillopora* spp.), encontrándose un efecto en la disposición del alimento latitudinalmente en la zona de G.C., con la mayor variedad en la Zona Sur (desde los 24° a 26°), con una preferencia por *Pocillopora* y *Porites papanmensis* (38%).

De acuerdo con la preferencia por corales hermatípicos se esperaría encontrar una mayor abundancia de estrellas en sitios de mayor cobertura coralina. Sin embargo, se ha observado lo contrario. En Castro-Peláez (2016) en un estudio realizado en el Parque Nacional Archipiélago de Espiritu Santo (PNAES) en el periodo 2010-2014, en

el sitio El Cardonal, el cual tiene una cobertura coralina alta (33%) registraron solo tres individuos, mientras que, para la Ballena, área con una cobertura de 10% se contabilizaron 39 individuos. En este último sitio predominó la cobertura de tapete de algas (50%), lo que indica que en ausencia de coral los organismos se están alimentando de este grupo de algas. Esta conducta se hace evidente en individuos observados en fondos arenosos, aislados de la zona arrecifal, en postura de alimentación y con el estómago evertido hacia el suelo arenoso, degradando la diversa flora y fauna (Herrero-Pérezrul M.D. Com. Pers.). Esta observación resuelta importante considerando que se ha definido como especie arrecifal, llegando a encontrarse en fondo arenosos.

## 9. Conclusiones

- Los organismos presentes en el Golfo de California son *Acanthaster planci* de acuerdo con las secuencias genéticas obtenidas.
- La estrella *Acanthaster planci* se encuentra distribuida desde 22° N a los 28° N en el Golfo de California, con mayor presencia en las islas costeras, así como la línea de costa asociada a las comunidades arrecifales.
- Para el periodo 2004-2016 se contó un total 2680 individuos a lo largo de las zonas arrecifales del Golfo de California, con densidades inferiores a un individuo por metro cuadrado.
- Alcanza un máximo de 36 cm de diámetro de disco. Los individuos de mayor tamaño están concentrados en la parte Sur (24°-26°) del golfo, mientras que en el norte (26°-28° N) se presentan individuos más pequeños.
- *A. planci* es un equinodermo arrecifal con una alimentación generalista llegando a consumir invertebrados (corales, briozoarios) y algas (frondosas, tapetes y coralinas); así como un comportamiento oportunista aprovechando organismos de fácil acceso para su alimentación (p. ej. colonias de coral desprendidas, reclutas de *Pocillopora* spp., fauna asociada a la arena), sin embargo, el tipo de alimento preferido de la especie son corales hermatípicos (*P. panamensis*) seguido de algas.

## 10. Perspectivas de investigación

Con base en los resultados obtenidos han surgido nuevas líneas de investigación con las que se pueda mejorar y ampliar el conocimiento de la estrella de mar Corona de espinas. A continuación, se enumeran algunas de ellas.

- Desarrollar una descripción amplia de los caracteres morfológicos de COTS con la intención de verificar la validez taxonómica de los individuos a lo largo del Golfo de California.
- Contrastar los resultados de las secuencias genéticas con un mayor número de muestras de COTS distribuidos en el Golfo, ya que es importante conocer si existe una o más poblaciones.
- Explorar el efecto del ambiente sobre las densidades de COTS y de esta manera entender que variables ambientales (temperatura, salinidad, productividad primaria, etc.) tiene una presión sobre estos organismos.
- Realizar un seguimiento del tamaño de las estrellas en distintos sitios de manera anual con la finalidad entender la dinámica de la población.
- En cuanto a la alimentación, es necesario hacer un seguimiento del efecto de la estrella sobre los organismos de los que se alimentan, la frecuencia con la que se alimenta en cierto periodo, así como la recuperación del organismo, principalmente de las colonias de coral.

## 11. Bibliografía

- Abbott, I.A. & G.J. Hollenberg, 1992. *Marine algae of California*. Stanford University Press, 843 p.
- Adjeroud, M., Y. Chancerelle, M. Schrimm, T. Perez, D. Lecchini, R. Galzin & B. Salvat. 2005. Detecting the effects of natural disturbances on coral assemblages in French Polynesia: a decade survey at multiple scales. *Aquatic Living Resources*, 18:111–123.
- Álvarez-Borrego, S., J.A. Rivera, G. Gaxiola Castro, M.J. Acosta-Ruiz & R.A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2): 53-71.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. 427-449. *En*: B. H. Ketchum. (Ed.). *Estuaries and enclosed seas*. Elsevier.
- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography. 41-59. *En*: Case, T. J., M.L. Cody & E. Ezcurra (Eds.). *A new island biogeography of the Sea of Cortes*. Oxford University Press, Oxford.
- Babcock, R. C., D.A Milton, & M.S. Pratchett. 2016. Relationships between size and reproductive output in the crown-of-thorns starfish. *Marine Biology*, 163(11): 234.
- Barham, E.G., R.W. Gowdy & F.H. Wolfson. 1973. *Acanthaster* (Echinodermata, Asteroidea) in Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 71(4): 927-942.
- Barnes, J.H. 1966. The crown-of-thorns starfish as a destroyer of coral. *Australian Natural History*, 15: 257-261.
- Belk, M.S. & D. Belk. 1975. An observation of algal colonization on *Acropora aspera* killed by *Acanthaster planci*. *Hydrobiologia* 46:29–32.
- Birkeland, C. 1982. Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology*, 69(2): 175-185.

- Birkeland, C. & J. Lucas. 1990. *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. CRC Press, 257 p.
- Blake, D.B. 1979. The affinities and origins of the crown-of-thorns sea star *Acanthaster Gervais*. *Journal of Natural History*, 13(3): 303-314.
- Bos, A. R., G.S. Gumanao, B. Mueller & M.M. Saceda-Cardoza. 2013. Management of crown-of-thorns sea star (*Acanthaster planci* L.) outbreaks: removal success depends on reef topography and timing within the reproduction cycle. *Ocean & coastal management*, 71: 116-122.
- Branham, J.M., S.A. Reed, J.M. Bailey & J. Caperon. 1971. Coral-eating sea stars: *Acanthaster planci*. Hawaii. *Science*, 172:1155–1157.
- Brauer, R. W., M.J. Jordan, & D.J. Barnes. 1970. Triggering of the stomach eversion reflex of *Acanthaster planci* by coral extracts. *Nature*, 228: 344-346
- Brodie, J., K. Fabricius, G. De'ath & K. Okaji. 2005. Are increased nutrient inputs responsible for more outbreaks of crown-of-thorns starfish? An appraisal of the evidence. *Marine pollution bulletin*, 51(1): 266-278.
- Brodie, J., M. Devlin, & S. Lewis. 2017. Potential enhanced survivorship of crown of thorns starfish larvae due to near-annual nutrient enrichment during secondary outbreaks on the central mid-shelf of the Great Barrier Reef, Australia. *Diversity*, 9(1): 17.
- Bruckner, A. 2013. Mitigating the impacts of *Acanthaster planci* (crown-of-thorns starfish, COTS) outbreak on coral reefs in Aitutaki, Cook Islands. *Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation Publication*, 9: 33 p.
- Bruno, J.F. & E.R. Selig. 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS one*, 2(8): e711.
- Brusca, R. C. 1973. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona, 513 p.

- Brusca, R.C. & D.A. Thomson. 1975. Pulmo Reef: The only "coral reef" in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 1(3): 37-53.
- Caballes, C. F., M.S. Pratchett, A.M. Kerr & J.A. Rivera-Posada. 2016. The role of maternal nutrition on oocyte size and quality, with respect to early larval development in the coral-eating starfish, *Acanthaster planci*. *PLoS One*, 11(6): e015800.
- Cameron, A. M., R. Endean, & L.M. DeVantier. 1991. Predation on massive corals: are devastating population outbreaks of *Acanthaster planci* novel events?. *Marine Ecology Progress Series*, 75: 251-258.
- Caso, M.E. 1961. *Los equinodermos de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 123 pp.
- Caso, M.E. 1962. Estudios sobre asteridos de México. Observaciones sobre especies Pacíficas del género *Acanthaster* y descripción de una subespecie nueva, *Acanthaster ellisii pseudoplanci*. *Anales del Instituto de Biología UNAM.*, 32 (1-2): 313-331.
- Caso M.E. 1974. Morfología externa de *Acanthaster planci* (Linnaeus). *Journal of the Marine Biological Association of India*, 16 (1): 83–93.
- Castro-Peláez, M.A. 2016. Variación espacio-temporal de la abundancia de algunas especies de asteroideos (Echinodermata) en El Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 62 p.
- Castro, R., A.S. Mascarenhas, R. Durazo & C.A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 26(4): 561–583.
- Chess, J.R., E.S. Hobson & D.F. Howard. 1997. Interactions between *Acanthaster planci* (Echinodermata, Asteroidea) and scleractinian corals at Kona. *Pacific Science*, 51(2): 121-133.

- Cintra-Buenrostro, C.E., H. Reyes-Bonilla & M.D. Herrero-Pérezrul. 2005. Oceanographic conditions and diversity of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in the Gulf of California, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 53(3): 245-261.
- Clark, C. & B. Weitzman. 2008. Population study survey of *Acanthaster planci*, the Crown-of-Thorns Starfish on the northwest coast Moorea, French Polynesia. *Report of the University of California, Santa Cruz*.
- Clements, C.S. & M.E. Hay. 2015. Competitors as accomplices: seaweed competitors hide corals from predatory sea stars. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814): 20150714.
- Colgan, M. W. 1987. Coral reef recovery on Guam (Micronesia) after catastrophic predation by *Acanthaster planci*. *Ecology*, 68:1592–1605.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2012. *Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera Zona Marina Profunda Golfo de California*. 118 p.
- Cowan, Z.L., M. Pratchett, V. Messmer & S. Ling. 2017. Known predators of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.) and their role in mitigating, if not preventing, population outbreaks. *Diversity*, 9(1): 7.
- Dana, T. & A.A. Wolfson. 1970. Eastern Pacific crown-of-thorns starfish populations in the lower Gulf of California. *San Diego Society of Natural History*. 16 (4): 83-90.
- De Alba, C. 1978. Predación de coral por la estrella de mar corona de espinas *Acanthaster ellisii* (Gray) en el área de Bahía de La Paz. *Memorias I Simposio de Biología Marina, UABCS*, 1: 45-51.
- De la Lanza-Espino, G. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor, S.A. 569 p.
- De La Lanza-Espino, G. 2004. Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias*, 76.

- De'ath, G. & P.J. Moran. 1998. Factors affecting the behaviour of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* L.) on the Great Barrier Reef: 2: Feeding preferences. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 220(1): 107-126.
- De'ath, G., K.E. Fabricius, H. Sweatman, & M. Puotinen. 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44): 17995-17999.
- Dumas, P., G. Moutardier, J. Ham, R. Kaku, S. Gereva, J. Lefèvre, & M. Adjeroud. 2016. Timing within the reproduction cycle modulates the efficiency of village-based crown-of-thorns starfish removal. *Biological Conservation*, 204: 237-246.
- Endean, R. 1974. *Acanthaster planci* on the Great Barrier. *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium I*. Great Barrier Reef Committee, 5: 563-576.
- Endean, R. 1977. *Acanthaster planci* infestations on the reefs of the Great Barrier Reef. 185–191. In: D. L. Taylor (Ed). *Proceedings of the Third International Coral Reef Symposium*. Volume 1. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida, USA.
- Fabricius, K. .2013. *Acanthaster planci*, 132-141. En: J.M. Lawrence (Ed.). *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Baltimore, Maryland: John Hopkins University Press.
- Glynn, P.W. 1974. The impact of *Acanthaster* on corals and coral reefs in the eastern Pacific. *Environmental Conservation*, 1(4): 295-304.
- Glynn, P.W., J.L. Maté, A.C. Baker & M.O. Calderón. 2001. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño–Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science*, 69(1): 79-109.

- Gray, J.E. 1840. A synopsis of the genera and species of the class Hypostoma (Asterias Linnaeus). *Annals and Magazine of Natural History* 6: 175-184 and 275-290.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority. 2014. Crown-of-thorns starfish control guidelines, GBRMPA, Townsville, 23 pp.
- Haszprunar, G. & M. Spies. 2014. An integrative approach to the taxonomy of the crown-of-thorns starfish species group (Asteroidea: *Acanthaster*): A review of names and comparison to recent molecular data. *Zootaxa*, 3841(2): 271-284.
- Haszprunar, G., C. Vogler & G. Wörheide. 2017. Persistent gaps of knowledge for naming and distinguishing multiple species of crown-of-thorns-seastar in the *Acanthaster planci* species complex. *Diversity*, 9(2): 22.
- Hendrickx, M.E., R.C. Brusca & L.T. Findley. 2005. *Listado y Distribución de la Macrofauna del Golfo de California, México, Parte I: Invertebrados*. Arizona-Sonora Desert Museum. 429 p.
- Hermosillo-Nuñez, B., F. Rodríguez-Zaragoza, M. Ortiz, C. Galván-Villa, A. Cupul-Magaña & E. Ríos-Jara. 2015. Effect of habitat structure on the most frequent echinoderm species inhabiting coral reef communities at Isla Isabel National Park (Mexico). *Community ecology*, 16(1): 125-134.
- Herrero-Pérezrul, M.D. 2008. Diversity and abundance of reef macro invertebrates (Mollusca; Echinodermata) in the southern Gulf of California, México. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, 26:7-11.
- Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, A. González-Azcárraga, C.E. Cintra-Buenrostro & A. Rojas-Sierra. 2008. Aspectos ecológicos de algunos equinodermos en Bahía de Los Ángeles, B. C. México. 339-361. *En*: E. Ezcurra y G. Danemann (Eds.). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2005*. PRONATURA Noroeste-INE-MHNSD.
- Hickman Jr, C. P. 2008. A field guide to corals and other radiates of Galápagos. Sugar Spring, Lexington, 162 p.

- Honey-Escandón, M., F.A. Solís-Marín & A. Laguarda-Figueras. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 56: 3.
- Holguin-Quiñones, O.E., & J.E. Michel-Morfin. 2006. Population structure and accompanying biota of the snail *Turbo (Callopoma) funiculosus* (Gastropoda: Turbinidae), on Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 54(4): 1079-1084.
- Holguin-Quiñones, O.E., F.D.J. González-Medina, F. Solís-Marín & E.F. Félix-Pico. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 1189-1199.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1982. Carta batimétrica. Golfo de California. CB-002. 1:1 000 000. Dirección General de Geografía.
- Kayal, M., J. Vercelloni, T.L. De Loma, P. Bosserelle, Y. Chancerelle, S. Geoffroy, C. Stievenart, F. Michonneau, L. Penin, S. Planes & M. Adjeroud. 2012. Predator crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) outbreak, mass mortality of corals, and cascading effects on reef fish and benthic communities. *PloS one*, 7(10): e47363.
- Keesing, J.K. 1990. Feeding biology of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (Linnaeus). Tesis de doctorado. James Cook University. 225 p.
- Keesing, J.K., & J.S. Lucas. 1992. Field measurement of feeding and movement rates of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 156(1): 8994-91104.
- Keesing, J.K., A.R. Halford, K.C. Hall, & C.M. Cartwright. 1997. Large-scale laboratory culture of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata: Asteroidea). *Aquaculture*, 157: 215-226.

- Kimura, M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of molecular evolution*, 16(2): 111-120.
- Krupa, J. & C. Reeves. 2004. *Acanthaster planci* population survey on the North coast of Moorea, French Polynesia. University of California Santa Cruz. 14 p.
- Lamy, T., R. Galzin, M. Kulbicki, T.L. De Loma & J. Claudet. 2015. Three decades of recurrent declines and recoveries in corals belie ongoing change in fish assemblages. *Coral Reefs*, 35(1): 293-302.
- Lane, D.J. 2012. *Acanthaster planci* impact on coral communities at permanent transect sites on Bruneian reefs, with a regional overview and a critique on outbreak causes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(4): 803-809.
- Lara-Lara, J.R., V. Arenas-Fuentes, C. Bazán-Guzmán, V. Díaz-Castañeda, E. Escobar-Briones, M.D.L.C. García-Abad, G. Gaxiola-Castro, G. Robles-Jarero, R. Sosa-Ávalos, L.A. Soto-González, M. Tapia-García & J.E. Valdez-Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. 135-159. *En: CONABIO. Capital Natural de México: Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.*
- Lawrence, J. 1987. A functional biology of echinoderms. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD. 340 pp.
- Lucas, J.S., W.J. Nash & M. Nishida. 1985. Aspects of the evolution of *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata, Asteroidea). *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti*, 5:327-332.
- Luke, S.R. 1982. Catalogue of the Benthic Invertebrate Collections of the Scripps Institution of Oceanography. *Echinodermata. San Diego, CA: Scripps Institute of Oceanography*, SIO Reference Series: 82-5.

- Luna-Salguero, B.M. & H. Reyes-Bonilla. 2010. Community and trophic structure of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in rocky reefs of Loreto, Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica*, 20(2):127-134.
- MacNeil, M.A., C. Mellin, M.S. Pratchett, J. Hoey, K.R. Anthony, A.J. Cheal, I. Miller, H. Sweatman, Z.L. Cowan, S. Taylor, S. Moon & C.J. Fongesbeck. 2016. Joint estimation of crown of thorns (*Acanthaster planci*) densities on the Great Barrier Reef. *PeerJ*, 4: e2310.
- Mah, C.L. 2018. World Asteroidea Database. *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213289> on 2018-06-17
- Maluf, L.Y. 1988. Composition and Distribution of the Central Eastern Pacific Echinoderms. Natural History Museum of Los Angeles County. *Technical Reports*, (2):1-242.
- McClanahan, T.R., C.R. Sheppard & D.O. Obura. 2000. *Coral reefs of the Indian Ocean: Their ecology and conservation*. Oxford University Press, 525 p.
- Mendonça, V.M., M.M. Al Jabri, I Al Ajmi, M. Al Muharrami, M. Al Areimi & H.A. Al Aghbari. 2010. Persistent and expanding population outbreaks of the corallivorous starfish *Acanthaster planci* in the northwestern Indian Ocean: are they really a consequence of unsustainable starfish predator removal through overfishing in coral reefs, or a response to a changing environment. *Zoological Studies*, 49(1): 108-123.
- Miller, I.R., M. Jonker & G. Coleman. 2003. *Crown-of-thorns starfish and coral surveys using the manta tow and SCUBA search techniques*. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science.
- Moore, R.J. 1990. Persistent and transient populations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. 236-277. In: R.H. Bradbury. *Acanthaster and the Coral Reef: A theoretical perspective*. Springer, Berlin, Heidelberg. 348 p.

- Mora-Navarro, M. Del R., J.A. Vázquez-García, Y.L. Vargas-Rodríguez & R.M. Hernández-Herrera. 2006. *Algas del Occidente de México: Florística y Ecología*. Serie Fronteras de Biodiversidad, Vol. 2. Universidad de Guadalajara.
- Moran, P.J. 1986. The acanthaster phenomenon. *Oceanography and Marine Biology*, 24:379-480.
- Moran, P.J. 1990. *Acanthaster planci* (L.): biographical data. *Coral reefs*, 9(3): 95-96.
- Moran, P.J. 1997. Crown-of-thorns starfish questions and answers. *Australian Institute of Marine Science (AIMS)*.
- Morello, E.B., É.E. Plagányi, R.C. Babcock, H. Sweatman, R. Hillary & A.E. Punt. 2014. Model to manage and reduce crown-of-thorns starfish outbreaks. *Marine Ecology Progress Series*, 512: 167-183.
- Murillo-Cisneros, D.A. 2012. Variación espacio-temporal de *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 63 pp.
- Nakajima, R., N. Nakatomi, H. Kurihara, M.D. Fox, J.E. Smith & K. Okaji. 2016. Crown-of-thorns starfish larvae can feed on organic matter released from corals. *Diversity*, 8(4): 18.
- Nishida, M. & J.S. Lucas. 1988. Genetic differences between geographic populations of the crown-of-thorns starfish throughout the Pacific region. *Marine Biology*, 98(3): 359-368.
- Nugranad, J., S. Chantrapornsilp & T. Varapibal. 2000. Feeding and spawning behaviour of the trumpet triton, *Charonia tritonis* (L., 1758) in captivity. *Phuket Marine Biological Center Special Publication*, 21(1): 51-56.
- Ormond, R.F.G., & A.C. Campbell. 1974. Formation and breakdown of *Acanthaster planci* aggregations in the Red Sea. 595–619. *En*: A.M. Cameron, B.M. Campbell, A.B. Cribb, R. Endean, J.S. Jell, O.A. Jones, P. Mather & F.H. Talbot

- (Eds). *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium*. The Great Barrier Reef Committee, Brisbane, Australia.
- Ormond, R., R.H. Bradbury, S. Bainbridge, K. Fabricius, J. Keesing, L.M. De Vantier, P. Medlay & A. Steven. 1990. Test of a model of regulation of crown-of-thorns starfish by fish predators. 189–207. *In*: R. H. Bradbury (Ed). *Acanthaster and the coral reef: a theoretical perspective*. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Ortiz-Pérez, M.A., L. Espino, S. Enciso & M. Porfiriocoaut. 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. *Serie de Texto Universitarios*. Instituto de Geografía. UNAM. 145 pp.
- Padilla-Pérez, M.S., A.P. Rodríguez-Troncoso, R.C. Sotelo-Casas & A.L. Cupul-Magaña. 2017. Equinodermos del Parque Nacional Islas Marietas: Generalidades, importancia e identificación visual como herramienta para su protección. *Áreas Naturales Protegidas, Scripta*, 3(2): 51-92.
- Pratchett, M.S. 2007. Feeding Preferences of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) under Controlled Conditions of Food Availability 1. *Pacific Science*, 61(1): 113-120.
- Pratchett, M.S., T.J. Schenk, M. Baine, C. Syms & A.H. Baird. 2009. Selective coral mortality associated with outbreaks of *Acanthaster planci* L. in Bootless Bay, Papua New Guinea. *Marine environmental research*, 67(4-5), 230-236.
- Pratchett, M.S., C.F. Caballes, J.C. Wilmes, S. Matthews, C. Mellin, H.P.A. Sweatman, L.E. Nadler, J. Brodie, C.A. Thompson, J. Hoey, A.R. Bos, M. Byrne, V. Messmer, S.A.V. Fortunato, C.C.M. Chen, A.C.E. Buck, R.C. Babcock & S. Uthicke. 2017. Thirty years of research on crown-of-thorns starfish (1986–2016): Scientific advances and emerging opportunities. *Diversity*, 9(4):41.
- Quinn, N.L. & B.L. Kojis. 2006. Natural resilience of coral reef ecosystems. 61-75. *In*: W. F. Precht (Ed.) *Coral reef restoration handbook*. Taylor and Francis, Boca Raton

- Reichelt, R.E., R.H. Bradbury & P.J. Moran, 1990. The crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*, on the Great Barrier Reef. *Mathematical and Computer Modelling*, 13(6): 45-60
- Reyes-Bonilla, H. & L.E. Calderón-Aguilera. 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. & L.E. Calderón-Aguilera. 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., T. L. Pérez-Vivar & J. T. Ketchum-Mejía. 1999. Distribución geográfica y depredación de *Porites lobata* (Anthozoa: Scleractinia) en la costa occidental de México. *Revista de biología tropical*, 47(1-2): 273-279.
- Reyes-Bonilla, H. 2003. Coral reefs of the Pacific coast of México. 331-349. *En*: J. Cortés (Ed.). *Latin American coral reefs*. Elsevier.499 pp.
- Reyes-Bonilla, H., L.E. Calderon-Aguilera, G. Cruz Piñon, P. Medina-Rosas, R.A. López Pérez, M.D. Herrero-Pérezrul, G.E. Leyte Morales, A.L. Cupul-Magaña & J.D. Carriquiry-Beltrán. 2005a. *Atlas de los corales pétreos (Anthozoa: scleractinia) del Pacífico Mexicano*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Universidad de Guadalajara/Centro Universitario de la Costa, Universidad del Mar, Ensenada, 125 pp.
- Reyes-Bonilla, H., A. González-Azcárraga & A. Rojas-Sierra. 2005b. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(3):233-244.
- Reyes-Bonilla, H., D. Herrero-Pérezrul, A. Weaver & I. Sánchez-Alcántara. 2007. Línea base de información biofísica de Espíritu Santo.120-128. *En*: Sociedad de Historia Natural Niparajá (Eds). *Pescando Información en Espíritu Santo: Generación de información socioeconómica, de gobernabilidad y biofísica*.

- Robinson, J.A. & D.A. Thomson. 1992. Status of the Pulmo Coral Reefs in the lower Gulf of California. *Environmental conservation*, 19(3): 261-264.
- Rodríguez-Villalobos, J.C., T.M. Work, L.E. Calderon-Aguilera, H. Reyes-Bonilla & L. Hernández. 2015. Explained and unexplained tissue loss in corals from the Tropical Eastern Pacific. *Diseases of aquatic organisms*, 116(2): 121-131.
- Saitou, N. & M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4(4): 406-425.
- Santamaría-del-Angel, E., S. Alvarez-Borrego & F.E. Müller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C4): 7411-7421.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California. Diario Oficial. 28 p.
- Solís-Marín, F.A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. Gust Ahearn & J. Torres Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 53: 3.
- Souter D & O. Linén. 2005. *Status Report on Coral Reef Degradation in the Indian Ocean*. Department of Biology and Environmental Science. University of Kalmar. CORDIO, Kalmar, 96 p.
- Sweatman, H.P.A. 1995. A field study of fish predation on juvenile crown-of-thorns starfish. *Coral Reefs*, 14(1): 47-53.
- Thompson, J.D., D.G. Higgins & T.J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22(22): 4673-4680.
- Ulloa, R., J. Torre, L. Bourillón, A. Gondor & N. Alcantar. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja

- California Sur. *Informe final a The Nature Conservancy. Guaymas (México): Comunidad y Biodiversidad, A.C.*, 153 p.
- Uthicke, S., B. Schaffelke & M. Byrne. 2009. A boom–bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs*, 79(1): 3-24.
- Valdez-Holguín, J.E., S. Álvarez-Borrego & C.C. Trees. 1999. Caracterización estacional y espacial de los parámetros fotosintéticos del fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(4): 445–467.
- Vázquez-Figueroa, V., C. Canet, R.M. Prol-Ledesma, A. Sánchez, P. Dando, A. Camprubí, C.J. Robinson & G. Hiriart Le Bert. 2009. Batimetría y características hidrográficas (mayo, 2007) en las Cuencas de Consag y Wagner, Norte del Golfo de California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1): 119-127.
- Verrill, A. E. 1867. Notes on the Radiata in the museum of Yale College, with descriptions of new genera and species: Comparison of the tropical echinoderm fauna of the east and west coasts of America. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 1: 339-351.
- Vogler, C., J. Benzie, H. Lessios, P. Barber & G. Wörheide. 2008. A threat to coral reefs multiplied? Four species of crown-of-thorns starfish. *Biology Letters*, 4(6): 696-699.
- Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 200 p.
- WoRMS Editorial Board. 2018. World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Acceso 2018-03-27.
- Yamaguchi, M. 1974. Growth of Juvenile *Acanthaster planci* (L.) in the Laboratory. *Pacific Science*, 28(2):123-138.

Yamaguchi, M. 1986. *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. *Coral Reefs* 5:23–30.

Zapata, F.A., M. Del Mar-Palacios, V. Zambrano & M. Rodríguez-Moreno. 2017. Filling the gaps: first record of the Crown-of-thorns Starfish, *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758) (Spinulosida: Acanthasteridae), at Gorgona Island, Colombia, Tropical Eastern Pacific. *Check List*, 13(3): 2112.

Zar, J. H. (2009). *Biostatistical analysis*. 5th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. 944 p.

## 12. Anexo

**Tabla 6. Información de los individuos registrados para el análisis del D<sub>a</sub>**

<b>No. de individuos registrados</b>	<b>Localidad</b>	<b>Año</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (W)</b>
116	Cueva de León	2008, 2009	24.045	-109.825
94	Ensenada de Muertos	2008, 2009	24.066	-109.834
115	Isla Gaviota	2008, 2009	24.287	-110.341
64	San Rafaelito	2008, 2009	24.298	-110.345
13	Puerto Mejía	2015	24.253	-110.151
17	Punta Diablo	2015	24.293	-110.340
10	San Gabriel	2015	24.427	-110.360
7	Submarino	2015	25.761	-111.243
5	Biznaga	2015	25.817	-111.262
5	Cardón	2015	26.102	-111.275
2	San Rafaelito	2016	24.298	-110.345
3	Tecolote	2016	24.312	-110.219
4	Coyotito	2016	24.336	-110.230
1	Isla Cerralvo	2016	24.435	-109.967
4	La Ánimas	2016	25.114	-110.508
3	Isla San Mateo	2016	25.379	-110.993
1	Norte Isla Catalana	2016	25.716	-110.776
6	Isla San Idelfonso	2016	26.624	-111.426
1	Isla Tortuga	2016	27.430	-111.862
4	San Pedro Nolasco	2016	27.956	-111.374
3	Isla San Pedro Mártir	2016	28.390	-112.304
2	Calerita	2016, 2017	24.355	-110.284
1	Punta arenas	2017	24.044	-109.825
11	El Saltito	2017	24.252	-110.149
1	El_Merito	2017	24.302	-110.337

**Tabla 7. Datos fotográficos para el análisis del tipo de alimentación**

<b>No. individuos alimentándose</b>	<b>Localidad</b>	<b>Año</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (W)</b>
1	Punta Arenas	2017	24.044	-109.825
1	El Saltito	2017	24.252	-110.149
1	El Saltito	2017	24.252	-110.148
1	Norte de Gaviota	2017	24.286	-110.336
1	Islote San Rafaelito	2016	24.298	-110.345
14	Bahía La Paz	2008	24.302	-110.346
1	El Merito	2017	24.302	-110.337
1	Tecolote	2016	24.312	-110.219
1	Cerralvo	2005	24.322	-110.346
4	Coyotito	2016	24.336	-110.230
1	Calerita	2017	24.355	-110.286
12	El Corralito	2017	24.443	-110.149
8	Espíritu Santo	2017	24.475	-110.289
4	San José	2004	25.040	-110.588
2	Las Ánimas	2016	25.114	-110.508
1	Isla Santa Cruz	2017	25.284	-110.703
1	Isla San Mateo	2016	25.379	-110.993
1	Isla Coronados	2016	26.134	-111.262
5	Isla San Idelfonso	2016	26.624	111.426
1	Isla Tortuga	2016	27.430	-111.862
4	San Pedro Nolasco	2016	27.956	-111.374