



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Caracterización de la población de *Acanthaster cf. solaris*
(Echinodermata: Asteroidea) en el Parque Nacional Zona
Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES)
Baja California Sur, México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

FRIDA JIMENA SÁNCHEZ LUNA

DIRECTORA DE TESIS:

JENNY CAROLINA RODRÍGUEZ VILLALOBOS

CIUDAD DE MÉXICO, 2020





Universidad Nacional
Autónoma de México

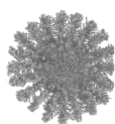


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

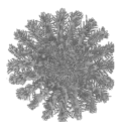
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*A mis padres
A mi hermana y a mi abuela*

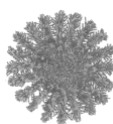


AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas y espacios a quienes me gustaría agradecer todo este camino y trabajo. Gracias a la comunidad de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ciencias por proporcionarme todas las herramientas para crecer en el mundo de la Biología. Al programa de Movilidad Estudiantil Nacional ECOES por el financiamiento para desarrollar este proyecto y a la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) por la oportunidad en mi primera estancia de investigación donde comencé este viaje.

Agradezco enormemente a la Dra. Jenny Carolina Rodríguez Villalobos y a Ecosistemas y Conservación (ECO) por brindarme la oportunidad de desarrollar esta maravillosa investigación, por el apoyo, asesoría, e invaluable enseñanzas sobre los arrecifes coralinos, por permitirme crecer en nuevos proyectos bajo el agua. Gracias a los miembros de mi comité: al Dr. Francisco Solís Marín, a la M. en C. Maricela Vicencio Aguilar, al Dr. Héctor Reyes Bonilla y a la M. en C. Carolina Martín Cao Romero por su importante guía y consejo desde diferentes campos y horizontes, sin su ayuda no hubiera sido posible culminar este proyecto. Al equipo de CONANP y Niparájá por la colaboración y financiamiento en la toma de datos, por su valiosa ayuda y experiencia en el monitoreo en campo, los mejores buzos monitores que he conocido. Al Dr. Luis Calderón Aguilera por la asesoría e importante apoyo en el trabajo presentado en el congreso Latinoamericano de Equinodermos.

A cada uno de los miembros del Laboratorio de Sistemas Arrecifales en la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) por su excepcional contribución durante este trabajo. Al Dr. Luis Hernández Moreno por su guía, enseñanzas y constante apoyo desde mi primer estancia y viaje en las profundidades, por su valiosa amistad y por mostrarme el camino en la ecología marina. Al Dr. Héctor Reyes Bonilla por permitirme integrarme en diferentes proyectos y experiencias, por su asesoría y valiosas enseñanzas durante los congresos. Al M. en C. Alejandro Morales por todas las asesorías y apoyo en los análisis de esta investigación, por ayudarme a comprender mejor la enredada historia de *Acanthaster* spp. Al M. en C. Manuel Olán por su invaluable amistad y guía en el mundo de la



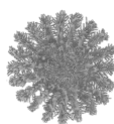
investigación, por ayudarme a esclarecer muchos cuestionamientos. A mis compañeros y amigos Montserrat, Rebeca, Irene, Andrea, Daniela, Antonella, Paul, Karla, Lazuli, Zoe, Miguel y Christian por su incomparable ayuda, por su compañía en este proceso entre corrientes y aguas turbias, por las risas en campo y sobre todo porque una tesis no la hace jamás una sola persona.

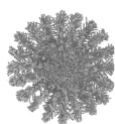
A todos los miembros del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML). Al Dr. Francisco Solís Marín por permitirme aprender en su laboratorio y por compartir sus conocimientos sobre el increíble mundo de los equinodermos con mucho entusiasmo. A la M. en C. Carolina Martín Cao Romero por compartir conmigo siempre con disposición y paciencia toda su experiencia en la taxonomía de las estrellas de mar. A la M. en C. Tayra Parada por su inmenso apoyo, enseñanzas sobre estrellas y espículas del Templo Mayor, por su cálida y maravillosa amistad y compañía. A Daniel, Mariana, Itzel, Frida, Brenda, Alex, Axel y Fernanda por su acompañamiento, risas y amistad invaluable durante mi estancia en el laboratorio.

Al M. en C. Noé Pacheco Coronel por la ayuda incondicional, por ser guía y mentor desde mis primeros pasos en la Biología. Por su inmensa amistad y por ayudarme a vislumbrar las puertas infinitas que hay por abrir en el mundo de la ciencia. Al Dr. Erick García Trejo por el valioso apoyo, escucha y consejos extraordinarios que han sido claves en mi crecimiento.

A los amigos en los que pude encontrar una familia, gracias Eunice, Pablo, Andrés, Paulina, María José, Pale, Daniela, Miguel, Hazel, Irazú, Vania, Arantxa, Rosa, Gabriel Sergio, Quetzal y César, cada uno de ustedes ha contribuido enormemente en mi camino y estaré siempre agradecida por cruzarnos en este universo.

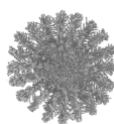
Finalmente, gracias infinitas a mis padres Concepción Luna y Pablo Sánchez por brindarme lo necesario para llegar alto y lejos, pero sobre todo por siempre creer y apostar en mí, gracias por impulsarme a volar libre eternamente. A mi hermana Yetlanezi Sánchez quien ha sido y será siempre para mí inspiración y maestra inigualable, mi amiga por la eternidad. A mi abuela Magdalena Estrada por su cariño inmenso y cálido apoyo toda la vida.



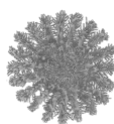


CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1 Generalidades	3
3.2 Formación de brotes y depredación en los sistemas coralinos	5
4. ANTECEDENTES	7
5. JUSTIFICACIÓN	9
6. OBJETIVOS	10
6.1 Objetivo general	10
6.2 Objetivos particulares	10
7. MATERIAL Y MÉTODO	11
7.1 Área de estudio	11
7.2 Trabajo de campo	13
7.3 Trabajo de gabinete	16
7.4 Análisis de datos	17
8. RESULTADOS	19
8.1 Historia natural de <i>Acanthaster cf. solaris</i> en el Golfo de California	19
8.1.1 Taxonomía	19
8.1.2 Distribución	21
8.1.3 Biología	22
8.2 Distribución espacial de <i>Acanthaster cf. solaris</i> en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES)	24
8.3 Densidad poblacional y estructura de tallas de <i>Acanthaster cf. solaris</i>	25
8.3.1 Densidad poblacional	25



8.3.2 Estructura de tallas.....	26
8.4 Caracterización de sustrato y alimentación de <i>Acanthaster cf. solaris</i>	29
8.4.1 Sustrato asociado	29
8.4.2 Alimentación	30
8.4.3 Selección de recurso	32
8.5 Grado de amenaza de la estrella	35
8.5.1 Prevalencia.....	35
9. DISCUSIÓN.....	36
10. CONCLUSIÓN	46
11. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN	47
LITERATURA CITADA.....	48
ANEXOS.....	60



1. RESUMEN

Acanthaster cf. solaris conocida también como estrella *corona de espinas* es un habitante natural en las comunidades coralinas del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES). En la actualidad el conocimiento sobre esta especie en la región es escasa y se limita principalmente al estudio de su ocurrencia, densidad y alimentación. Considerando las pequeñas dimensiones estructurales y diversidad de las comunidades coralinas, así como los antecedentes de depredación de esta estrella, su estudio en el PNZMAES es fundamental para comprender mejor su comportamiento asociado a los sistemas coralinos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la población de *A. cf. solaris* a través de la perspectiva de su historia natural y aspectos biológicos y ecológicos. En agosto y septiembre del 2018 se realizaron 74 transectos en banda en 14 sitios del PNZMAES utilizando buceo autónomo para la identificación de individuos de la estrella. Se tomaron medidas del diámetro del disco, sustrato asociado y alimentación. Adicionalmente, se registró el número de colonias de coral sanas y lesionadas para estimar la proporción de individuos afectados por esta estrella dentro de la población. Se estimó una densidad promedio de 122 ± 267 ind/ha en el PNZMAES, los sitios Corralito, La Ballena y Roca Swan representaron los valores más altos. Un total de 356 individuos medidos se agruparon en seis intervalos de tallas correspondientes a los estadios juvenil-subadulto y adulto. Se registró una mayor proporción (55%) de individuos de *A. cf. solaris* asociados a corales escleractinios. La estrella se alimentó principalmente de las especies *Pocillopora* sp. (41%) y *Porites panamensis* (37%). En Corralito se reportó una prevalencia en los corales del 26% asociada a la depredación de este asteroideo. La alta densidad de individuos de *A. cf. solaris* observada, además del evidente daño en las colonias de coral *Pavona gigantea* y *Pocillopora* sp., sugieren un posible brote poblacional en este sitio. Esta investigación proporciona nueva información sobre la población de *A. cf. solaris* dentro del PNZMAES que permite comprender mejor su comportamiento como depredador en las comunidades coralinas.

2. ABSTRACT

Acanthaster cf. solaris also known as Crown of Thorns starfish is a natural inhabitant of the coral communities of the Espiritu Santo Archipelago Marine Zone National Park (PNZMAES Spanish acronym). Currently, knowledge about this species in this region is scarce and mainly limited to the study of its occurrence, density and feeding. Considering the small structural dimensions and diversity of coral communities, as well as the background of this starfish as predator, their study at PNZMAEZ is essential to understand better its behavior associated with coral systems. The aim of this work was to characterize the population of *A. cf. solaris* through the perspective of natural history, biological and ecological aspects. In August and September 2018, belt transects were made at different PNZMAES sites using autonomous diving to identify individuals of the starfish. Measurements of disc diameter, associated substrate, and feed were taken. Additionally, the number of healthy and injured coral colonies was recorded to estimate the proportion of individuals affected by the starfish within the population. An average density of 122 ± 267 ind/ha was estimated in the PNZMAES, Corralito, La Ballena and Roca Swan represented the highest values. A total of 356 measured individuals were grouped into six size intervals corresponding to the juvenile-subadult and adult growth stages. A higher proportion of *A. cf. solaris* individuals (55%) were associated with scleractinian corals. The starfish fed mainly on the species *Pocillopora* sp. (41%) and *Porites panamensis* (37%). At the Corralito site, a 26% prevalence in corals associated with the predation of this asteroid was reported. The high density of *A. cf. solaris* observed, in addition to the evident damage to coral colonies of *Pavona gigantea* and *Pocillopora* sp., suggest a possible population outbreak at this site. This research provides new information about *A. cf. solaris* population within the PNZMAES, which allows to better understand its predator behavior in coral communities.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Generalidades

El estatus taxonómico de las especies que conforman el género *Acanthaster* no se encuentra definido actualmente (Haszprunar *et al.* 2017). Se ha considerado a *Acanthaster planci* (Linnaeus 1758) como una especie de amplia distribución (Birkeland y Lucas 1990; Fabricius 2013). Sin embargo, estudios moleculares recientes han descrito que podría diferenciarse en más de una especie (Vogler *et al.* 2008; Haszprunar y Spies 2014). Entre los cuatro clados descritos, los investigadores han definido que *Acanthaster* cf. *solaris* corresponde a la especie del Pacífico incluyendo el Golfo de California (Haszprunar *et al.* 2017). El uso de la abreviación “cf.” (latin *confer*) entre el género y el epíteto específico refiere a la similitud de los individuos distribuidos en el Pacífico con la especie *Acanthaster solaris* (Haszprunar *et al.* 2017), no obstante la definición de esta especie para el Pacífico aún se discute entre los especialistas. Tomando en cuenta los estudios más recientes, se ha considerado dicha nomenclatura para la elaboración del presente estudio.

La estrella *corona de espinas* pertenece a la clase Asteroidea (del griego *aster*, “estrella”, *eidos*, “en forma de”) una de las más diversas dentro del *phylum* Echinodermata (Benavides-Serrato *et al.* 2011). Se distribuye ampliamente en el Indo-Pacífico tropical y subtropical, desde el Mar Rojo, Golfo de Omán, el Mar Árabe y la costa este de África a través de la Micronesia (Fabricius 2013). En el Pacífico Oriental Tropical su distribución es de forma discontinua, se encuentra desde México (Golfo de California, Islas Revillagigedo), pasando por Isla Clipperton, Costa Rica (Isla Cocos, Isla del Caño), Panamá (Golfo de Chiriquí), Colombia (Isla Malpelo e Isla Gorgona) hasta Ecuador (Norte de Islas Galápagos) (Glynn 1974; Zapata *et al.* 2017). No hay registros para el Caribe ni para el Océano Atlántico (Pratchett *et al.* 2014). En rango de latitudes se ha reportado desde los 34°N en las islas Ryukyu (Japón) a los 32°S en isla Lord Howe (Australia) (Fabricius 2013).

La estrella se caracteriza por la presencia de una gran cantidad de espinas capaces de desprender toxinas (saponinas) en la superficie aboral (Burnell y Apsimon 1983). Tiene un disco relativamente grande (20 a 40 cm de diámetro) rodeado de 5 a 21 brazos cortos, su cuerpo es grueso, espinoso y poroso, formado por grandes áreas de pápulas retráctiles (Linnaeus 1758; Fabricius 2013; Solís-Marín *et al.* 2014) (Figura 1). Este asteroideo presenta principalmente una dieta coralívora. Sin embargo, diferentes estudios han evidenciado que puede alimentarse de otros organismos como briozoarios, esponjas, anémonas (*Zoanthus danae*), moluscos (*Turbo funiculosus*), algas coralinas y frondosas (*Padina* sp.), corales hermatípicos (*Porites* sp., *Pavona* sp., *Pocillopora* spp. y *Psammocora* sp.), corales ahermatípicos (*Eugorgia* sp. y *Pacifigorgia* sp.), organismos incrustantes, e incluso de individuos de su propia especie (Barham *et al.* 1973; Branham 1973; Moran 1986; Birkeland 1989; De'ath y Moran 1998; Herrero-Pérezrul 2008).

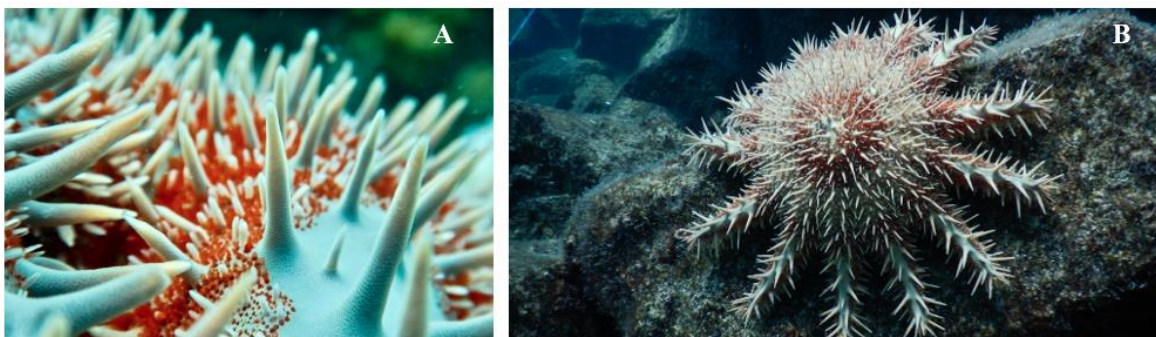


Figura 1. Individuos de *Acanthaster* cf. *solaris*. A. En esta vista se resaltan las espinas en la superficie aboral B. Plano del disco y brazos múltiples. Fotografía: A. Gabriel García y B. Frida Sánchez.

Los equinodermos forman parte importante de la biomasa del bentos en la zona nerítica y de las cadenas tróficas en el océano (Solís-Marín 1998). No obstante, características morfológicas, fisiológicas (Goreau 1964; Sloan 1980; Mueller *et al.* 2011; Sigl *et al.* 2016), reproductivas (Ormond *et al.* 1973; Fabricius 2013; Pratchett *et al.* 2014) y de comportamiento (Ormond *et al.* 1973) acompañadas de sus hábitos alimenticios (De'ath y Moran 1998; Pratchett 2007), definen a este equinodermo como un depredador que al aumentar su densidad es capaz de modificar la estructura y la función de los niveles tróficos en el arrecife coralino (Birkeland 1989).

3.2 Formación de brotes y depredación en los sistemas coralinos

Como se ha observado en otros equinodermos, la densidad de las poblaciones de *Acanthaster cf. solaris* describe oscilaciones en el tiempo (Sweatman 2008 y Uthicke *et al.* 2009). Se encuentra generalmente <1 ind/ha y tiene efectos mínimos en los arrecifes (Glynn 1973). Sin embargo, existen periodos en donde la densidad de la estrella aumenta formando brotes u *outbreaks* capaces de destruir grandes extensiones de arrecife (Rotjan y Lewis 2008; Pratchett 2007; Byrne y O'Hara 2017). Desde los primeros brotes identificados en la década de los 50's en Japón (Yamaguchi 1986) y la década de los 60's en Australia en la Gran Barrera Arrecifal (Kenchington 1976) las estrellas de mar han afectado eventualmente a las comunidades coralinas y han sido reconocidas como una de las amenazas más grandes para los arrecifes de coral (Vogler *et al.* 2013; Cowan *et al.* 2017; Haszprunar *et al.* 2017).

Actualmente las causas del aumento en la densidad de la estrella no se encuentran bien definidas (Pratchett *et al.* 2014; Byrne y O'Hara 2017). Considerando a los brotes como un evento impulsado por actividades antropogénicas, en la región del Indo-Pacífico se han descrito hasta el momento dos hipótesis que podrían explicar este comportamiento: el aumento en la cantidad de nutrientes (eutrofización) en la columna de agua y la eliminación de depredadores (*Charonia tritonis*), favoreciendo el desarrollo y éxito reproductivo de los organismos llegando a la madurez (Fabricius *et al.* 2010; Cowan *et al.* 2017; Haszprunar *et al.* 2017). En el Pacífico Oriental en Panamá se ha observado la presencia de un poliqueto (Familia Amphinomidae) que se alimenta de esta estrella (Glynn 1984).

La depredación de este equinodermo sobre los corales escleractinios da lugar a la pérdida de tejido provocando la mortalidad de los corales, esto puede conducir a un cambio de fase donde las algas comienzan a reclutarse sobre las colonias de coral (McManus y Polsenberg 2004). Este fenómeno afecta la complejidad estructural del arrecife relacionada estrechamente con la diversidad y productividad del ecosistema (Sano 2000; Kayal *et al.* 2012) pues una gran cantidad de organismos como peces e invertebrados dependen directamente de las colonias de coral como refugio y alimento (Pratchett *et al.* 2014).

Dado que este asteroideo puede desempeñar un importante papel como depredador, este trabajo pretende caracterizar la población de *Acanthaster cf. solaris* a través del estudio de diferentes aspectos biológicos y ecológicos para comprender mejor su comportamiento dentro del ecosistema marino. Dado que se desconoce si la depredación de la estrella afecta a las comunidades coralinas de la región, este estudio permitirá conocer el estado de las comunidades coralinas y determinar si la población de *Acanthaster cf. solaris* fue una amenaza dentro del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

4. ANTECEDENTES

En México la distribución de la estrella *Acanthaster cf. solaris* (referida en la literatura como *A. planci*) se ha reportado desde Isla Rasa (28°N) hasta Cabo Pulmo (23°N) en el Golfo de California, y en las islas oceánicas de Revillagigedo (Glynn 1974; Reyes-Bonilla y Calderon-Aguilera 1999). Los primeros trabajos relacionados con este asteroideo fueron descripciones taxonómicas, ocurrencia y listados de diversidad de equinodermos (Verrill 1870; Caso 1961, 1972; Maluf 1988; Solís-Marín *et al.* 1997 y Steinbeck y Ricketts 2009).

Entre los estudios que se han realizado en el Golfo de California destaca Dana y Wolfson en 1970 donde describen una densidad promedio de 45 ind/ha alimentándose de colonias de coral de la especie *Porites panamensis*, gorgonias y algas en menor proporción. Así mismo, Barham *et al.* (1973) a través de la literatura y registros no publicados en el Golfo de California describen de manera más puntual la distribución de este equinodermo desde Bahía San Carlos (27°N) hasta Los Frailes (23°N) incluyendo una densidad promedio de 50 ind/ha. Observan además que existe un patrón espacial de acuerdo a la disponibilidad de alimento donde las estrellas de la zona norte se alimentan de la especie de coral *Porites panamensis* y las de la zona sur por el género *Pocillopora*.

A escala regional en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES) existen pocos trabajos de investigación que describan de manera específica la ocurrencia de este asteroideo, la mayoría de ellos fueron enfocados al estudio general de macroinvertebrados. González-Medina *et al.* (2006) analizó la variación de gastrópodos, bivalvos y equinodermos en el PNZMAES en el 2001 y 2002, encontrando una densidad promedio de *Acanthaster cf. solaris* de 30 ind/ha. Por su parte, Herrero-Pérezrul (2008) en un estudio de diversidad y abundancia en arrecifes reporta una densidad de 220 ind/ha. Además, menciona que la estrella fue frecuentemente observada en fondos rocosos alimentándose de briozoos y octocorales.

Guzmán-Méndez en el 2009 registró una densidad de 1026 individuos de *A. cf. solaris* por hectárea en un periodo de muestreo entre 2005 y 2007 concluyendo que la estrella no representaba una amenaza para las comunidades coralinas de la región. Por su parte, Rojero-León describe en el mismo año una densidad promedio de 112 ind/ha. Adicionalmente, Murillo-Cisneros (2012) estudió la variación espacio-temporal de las densidades de *A. cf. solaris* en diferentes zonas de arrecifes incluyendo el PNZMAES, en dicho estudio caracterizó a la estrella con una densidad promedio de 200 in/ha mencionando que esta no está relacionada con la cobertura de coral y que presenta una preferencia por temperaturas entre 23 y 25°C. El trabajo más reciente es la revisión de registros de la estrella corona de espinas en el Golfo de California incluyendo el PNZMAES en un periodo de 13 años (2004-2017) por Hernández-Morales (2018). Los registros revelaron una densidad promedio de 500 ± 10 ind/ha, con una talla de 17.28 ± 0.22 cm y un consumo de las especies de coral *Pocillopora* sp. y *Porites panamensis*.

Entre los esfuerzos de investigación realizados hasta este momento para *Acanthaster cf. solaris* se observa un constante registro de densidad y alimentación. No obstante, aspectos como la talla de los individuos, reproducción y desplazamiento han sido apenas considerados (Dana y Wolfson 1970; Barham *et al.* 1973; Hernández-Morales 2018)

5. JUSTIFICACIÓN

La estrella corona de espinas es conocida por tener una gran influencia en los sistemas coralinos (Rotjan y Lewis 2008). Su comportamiento como depredador de corales escleractinios ha señalado a esta especie como una de las mayores causas de mortalidad (Osborne *et al.* 2011; Haszprunar *et al.* 2017). Cuando hay un exceso en la densidad de la estrella, su consumo de alimento excede la tasa de crecimiento de los corales (Fabricius 2013), este fenómeno puede potencializar la pérdida de los sistemas arrecifales cuando el crecimiento de algas domina sobre los corales modificando la complejidad estructural del arrecife. La productividad del ecosistema y la pérdida de diversidad de organismos asociados que dependen directamente de las colonias de coral están estrechamente relacionadas con la estructura arrecifal, por lo que su deterioro podría causar un gran impacto en estos ecosistemas (Kayal *et al.* 2012; Pratchett *et al.* 2014).

En este sentido, es necesario describir aspectos biológicos y ecológicos de *Acanthaster cf. solaris* para comprender el comportamiento de la población de esta estrella dentro del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. Así mismo, su estudio permite describir de manera específica su depredación y de este modo conocer el posible riesgo para las comunidades coralinas en la región. La información generada en este estudio aportará para el conocimiento de esta especie en el Golfo de California y aguas mexicanas.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Caracterizar la población de *Acanthaster cf. solaris* asociada a las formaciones coralinas del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES), Baja California Sur, México.

6.2 Objetivos particulares

1. Contextualizar desde la perspectiva de su historia natural, la población de *Acanthaster cf. solaris* en el Golfo de California.
2. Caracterizar la distribución espacial de la estrella corona de espinas en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.
3. Estimar la densidad poblacional y establecer la estructura de tallas de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.
4. Caracterizar el tipo de sustrato asociado y la actividad alimenticia de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.
5. Estimar el grado de amenaza (daño coralino) de la estrella para las formaciones coralinas dentro del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

7. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 Área de estudio

El Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES) se ubica al oriente de la Bahía de La Paz en el estado de Baja California Sur, México entre los 24° 28' 17''N y 110° 19' 57''W. Este archipiélago cuenta con una extensión de 101.75 km², está conformado por dos islas principales, La Partida y Espíritu Santo, y por tres islotes (La Ballena, El Gallo y La Gallina) localizados frente al litoral occidental de la isla. Además, presenta cuatro formaciones rocosas, entre las cuales se encuentran una de las tres zonas núcleo de conservación conocida como Los Islotes (CONANP 2014) (Figura 2).

Topográficamente el litoral oriental de Espíritu Santo es rocoso y homogéneo, mientras que la costa occidental, con entrantes y salientes forman zonas protegidas dando origen a ensenadas, pequeñas playas arenosas y lagunas bordeadas por manglares (CONANP 2014). Las condiciones de protección en la bahía y las zonas someras en el lado oeste de la isla permiten la formación de arrecifes rocosos con la presencia de parches coralinos de las especies: *Pocillopora* spp., *Porites panamensis*, *Pavona gigantea* y *Psammocora* spp. principalmente, con una distribución discontinua (Reyes-Bonilla 2003; Reyes-Bonilla y López-Pérez 2009). Dentro del PNZMAES podemos encontrar cuatro sitios con mayor cobertura coralina, San Gabriel, Roca Swan, Corralito (Empachado) y Las Navajas (Reyes-Bonilla *et al.* 2007).

Dentro de la Bahía de La Paz se pueden observar corrientes de dos tipos, de menor intensidad en la parte norte conocida como Boca Grande y de mayor intensidad en la parte sur en el Canal de San Lorenzo (CONANP 2014). El patrón de circulación dentro de la bahía puede llegar a ser dominado por las intensas corrientes originadas por el viento (CICIMAR 2000). La temperatura superficial del mar presenta temperaturas mínimas de 20° C en invierno y máximas de 30° C en el verano (CONANP 2014).

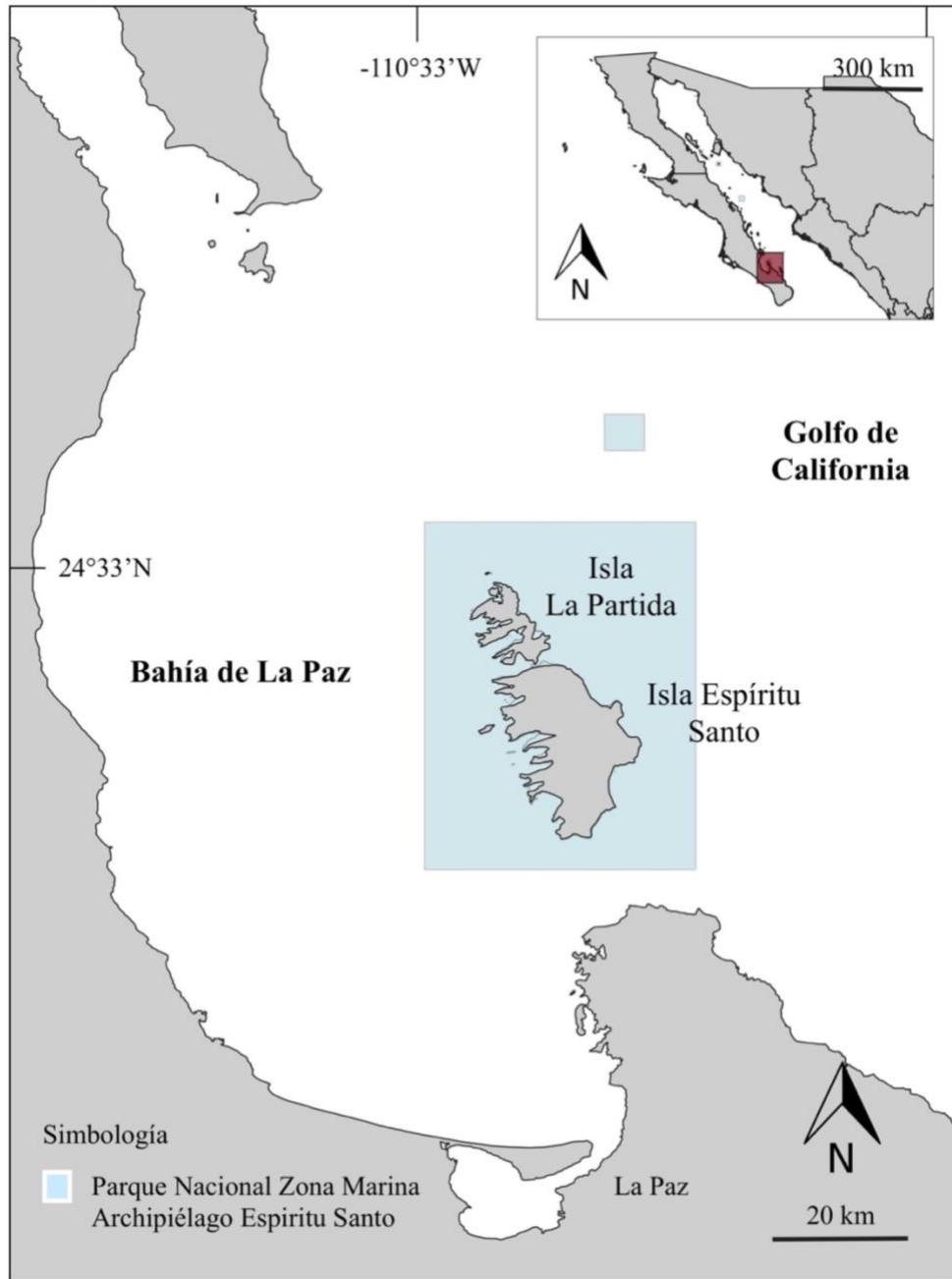


Figura 2. Área de estudio localizada dentro del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo en el Golfo de California, Baja California Sur.

7.2 Trabajo de campo

Entre agosto y septiembre del 2018 se llevaron a cabo censos visuales con ayuda de buceo autónomo en búsqueda de individuos de *Acanthaster cf. solaris* en 14 sitios dentro del PNZMAES (Anexo 1). La zona monitoreada principalmente en el oeste del Archipiélago corresponde a los sitios con la presencia de formaciones arrecifales coralinas y rocosas que han sido estudiados históricamente en la región (Figura 3).



Figura 3. Localización geográfica de los sitios de estudio para *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

En cada sitio se realizaron de 3 a 7 transectos de banda (n=74) tendidos paralelamente a la costa de 25 m de largo por 3 m de ancho (75 m²) a una profundidad de 2 a 10 m. Una vez identificados, los individuos de *Acanthaster cf. solaris* se midieron (diámetro del disco) con ayuda de una cinta métrica. Posteriormente la estrella se colocó en posición actinal (ventral) cuidadosamente con ayuda de un guante para determinar su alimentación comprobando la eversión de su estómago y caracterizando el sustrato al cual se encontraba asociada (Figura 4). De aquellos individuos observados en oquedades o ramificaciones de corales en los que se dificultaba su medición, únicamente se tomó registro de su ocurrencia, sustrato asociado y alimentación.

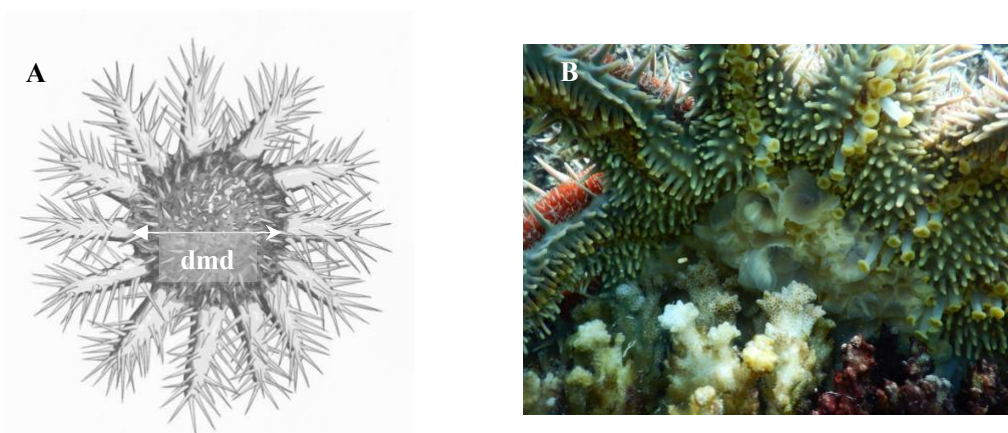


Figura 4. A. Superficie abactinal (dorsal) de *A. cf. solaris*. Diámetro del disco (dmd). B. Superficie actinal (ventral), eversión del estómago. Ilustración: Michigan Science Art. Fotografía: Frida Sánchez.

Esta metodología fue complementada con registros fotográficos tomados con una escala de referencia para definir la estructura de tallas de la población, caracterizar el sustrato al cual se encontraban asociadas y establecer la actividad alimenticia. La estimación de la densidad de la estrella (individuos por hectárea), el análisis de selección del recurso y la prevalencia (%) de la depredación sobre los corales, se realizó empleando únicamente la información obtenida con los transectos en banda.

Como parte de la caracterización del sustrato, la cobertura coralina se estimó a través de cuadrantes de PVC de 0.25 m² de área, los cuales eran colocados sobre el transecto cada cinco metros iniciando entre el metro cuatro y cinco (n=5, 1.25m²). La caracterización del suelo marino fue descrita como porcentaje de acuerdo a las categorías: arena, grava, roca, coral duro (especie), coral blando (género), macroalgas, alga coralina articulada e incrustante, tapete y otros. Es importante aclarar que durante el monitoreo realizado, las condiciones de corriente en el sitio Los Islotes no permitieron llevar a cabo la toma de datos. Por lo tanto, durante la elaboración de este trabajo sólo se analizaron talla, asociación al sustrato y alimentación de la estrella para este sitio por medio de registros fotográficos.

Para estimar la prevalencia (proporción de individuos afectados dentro de una población) de la lesión asociada con la depredación en los corales como una medida de la amenaza de la estrella para los arrecifes, a lo largo de los mismos transectos de banda, se identificaron y contabilizaron las colonias afectadas por *Acanthaster* cf. *solaris* y de la misma manera las colonias que no presentaban lesiones. Las lesiones fueron reconocidas por la pérdida de tejido dejando el esqueleto desnudo, estas presentan diferencias respecto a las lesiones hechas por otros depredadores. Las lesiones de este asteroideo se caracterizan como una mancha difusa sobre el coral (Rodríguez-Villalobos *et al.* 2015), esta es formada por el estomago de la estrella el cual es colocado directamente sobre la presa durante su alimentación. En la especie *Pocillopora* sp. la pérdida del tejido puede extenderse hasta la mitad de las ramas (Figura 5).

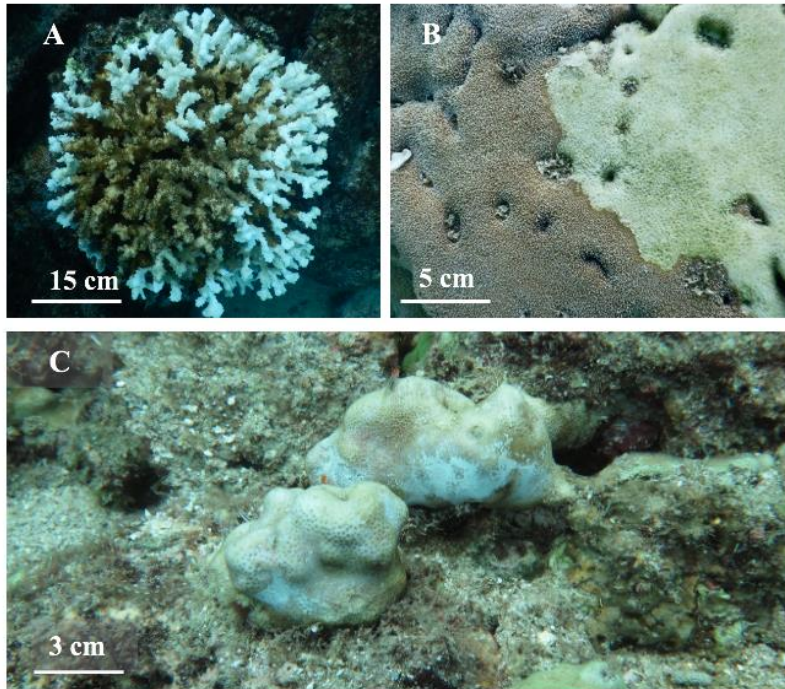


Figura 5. Lesiones causadas por depredación de *Acanthaster* cf. *solaris* en diferentes especies de coral. A. *Pocillopora* sp. B. *Pavona gigantea* C. *Porites panamensis*. Fotografía: Frida Sánchez.

7.3 Trabajo de gabinete

Se realizó una revisión bibliográfica que incluyó trabajos de tesis de nivel licenciatura y posgrado, así como artículos científicos de la región del Indo-Pacífico y Pacífico Oriental para la reconstrucción de la historia natural de *Acanthaster* cf. *solaris*. Las palabras clave de búsqueda como “Crown-of-thorns starfish”, “*Acanthaster*”, “*Acanthaster planci*”, “depredación coralina” fueron utilizadas en buscadores como google scholar, biblioteca central digital de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, biblioteca virtual del Instituto Politécnico Nacional y la biblioteca digital del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Los trabajos revisados fueron clasificados de acuerdo a los registros taxonómicos, distribución y características biológicas que describen a la estrella para contextualizar a partir de diferentes aspectos la historia natural de *Acanthaster* cf. *solaris* en el Golfo de California.

7.4 Análisis de datos

Una vez obtenidos los valores de la densidad de los individuos de *Acanthaster cf. solaris*, tras no comprobarse los postulados de normalidad y homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y la prueba *post hoc* de Mann Whitney en el software para análisis de datos R Core Team (2018), para conocer las diferencias en la densidad de la estrella entre los 14 sitios monitoreados.

Las estrellas registradas a través de fotografías fueron medidas con la ayuda del software Adobe Photoshop 2018 utilizando como escala un objeto de dimensiones conocidas. Posteriormente, la estructura de tallas de los individuos medidos (transectos y registros fotográficos) fueron definidos de acuerdo con los estadios juvenil-subadulto, adulto y adulto senil descritos por Pratchett *et al.* (2014). Adicionalmente, todas las tallas registradas fueron analizadas bajo la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y la prueba *post hoc* de Mann Whitney en R Core Team (2018) al no presentar normalidad y ni homogeneidad en las varianzas. Este análisis se realizó para conocer una posible distribución de acuerdo al tamaño de los individuos.

Con los registros de alimentación tomados se seleccionó las especies: *Pocillopora* sp., *Porites panamensis* y *Pavona gigantea* para realizar un análisis de selección del recurso (Manly *et al.* 1993) y conocer la posible preferencia de la estrella entre las especies de coral. La selección del recurso se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$W_i = o_i / a_i \quad \text{Ec. 1}$$

Donde o es la proporción de colonias por especie de coral ocupadas (depredadas) entre i el número total de colonias ocupadas (depredadas) y a la proporción de colonias disponibles por especie de coral entre i el número total de colonias disponibles. Los intervalos de confianza de Bonferroni para este análisis se obtuvieron con la fórmula:

$$Z_{\alpha/2k} \sqrt{[o_i(1 - o_i) / (u + a_i^2)]} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde $Z_{\alpha/2k}$ es el valor crítico de la distribución normal estándar correspondiente a un área de cola superior de $\alpha/2k$, α igual a 0.05 o 0.01, k es el número total de especies de coral y $u +$ corresponde al número total de colonias de coral de todas las especies ocupadas por *Acanthaster cf. solaris*. De acuerdo a los valores del intervalo de confianza obtenidos se interpreto el consumo de la estrella como:

De 0 a >1: proporcional a la disponibilidad del recurso
 >1: recurso preferido
 < 1: uso del recurso menos de lo esperado (evitado por la estrella)

De acuerdo al registro de las lesiones asociadas a la depredación de *A. cf. solaris* se estimó el grado de amenaza para las formaciones coralinas, la prevalencia se calculó como:

$$\frac{\text{Número de colonias lesionadas}}{\text{Número total de colonias en el sitio}} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Finalmente, para conocer si existe heterogeneidad geográfica en la depredación de la estrella en el PNZMAES, se realizó un análisis de X^2 considerando la prevalencia de lesiones por sitio de muestreo.

8. RESULTADOS

8.1 Historia natural de *Acanthaster* cf. *solaris* en el Golfo de California

8.1.1 Taxonomía

Las especies que conforman el género *Acanthaster* (Gervais 1841) han sido modificadas en varias ocasiones a lo largo de la historia. Inicialmente se consideraban *Acanthaster planci* para el Océano Indico, Mar Rojo, y Pacífico Occidental y *Acanthaster ellisi* (Gray 1840) como la especie correspondiente al Pacífico Oriental incluyendo el Golfo de California (Dana y Wolfson 1970; Barham *et al.* 1973 y Steinbeck y Ricketts 2009). Con el objetivo de diferenciar a las especies del Pacífico (*A. planci* y *A. ellisi*), Caso propuso en 1961 la subespecie *Acanthaster ellisi pseudo planci* basándose en caracteres morfológicos (espinas, pedicelarios y placas bucales). No obstante, más tarde análisis moleculares revelaron que estas poblaciones formaban una sola especie (*A. planci*) para el Pacífico (Haszprunar *et al.* 2017).

El estatus taxonómico de las especies dentro del género *Acanthaster* ha sido discutido entre los especialistas durante varios años (Haszprunar y Spies 2014). El World Register of Marine Species (WoRMS) encargado del registro y actualización de las especies marinas de invertebrados reconoce en la actualidad dos especies para este género, *Acanthaster planci* (Linnaeus 1758) y *Acanthaster brevispinus* (Fisher 1917) con dos subespecies *A. brevispinus brevispinus* (Fisher 1917) y *A. brevispinus seychellensis* (Jangoux y Azis 1894). Durante los últimos años, investigaciones como la de Haszprunar y Spies (2014) han discutido la existencia de un complejo de especies para *Acanthaster planci* con diferentes patrones de distribución. Vogler *et al.* (2008) expone por primera vez esta teoría a través de técnicas moleculares donde revelan la formación de cuatro clados, siendo *Acanthaster planci* la especie perteneciente a la región norte del Océano Indico y *Acanthaster solaris* a la región del Océano Pacífico.

De la misma manera, se ha observado diferencias de caracteres morfológicos como la longitud de las espinas entre poblaciones de *A. planci* y *A. solaris* (Haszprunar *et al.* 2017) que corresponden a lo propuesto por Vogler *et al.* (2008). Incluso, estudios como el de Timmers *et al.* (2012) y Tusso *et al.* (2016) han encontrado que el clado correspondiente a la región del Pacífico central (*A. cf. solaris*) presenta grupos diferenciados genéticamente de acuerdo a la sub región donde se encuentren.

A partir de la descripción de este complejo de especies agrupadas como *A. planci*, diferentes estudios sobre ecología, genética, reproducción y manejo de la estrella han considerado *Acanthaster cf. solaris* como especie para el Pacífico incluido el Golfo de California (Buck *et al.* 2016; Sigl y Laforsch 2016; Harrison *et al.* 2017; Pratchett *et al.* 2017 y Uthicke *et al.* 2018). No obstante, la invalidez de esta especie persiste en la actualidad en la WoRMS (2019).

Adicionalmente, los estudios taxonómicos y genéticos han considerado el color como una característica para diferenciar a las especies. En 1999 se encontró que las poblaciones de este asteroideo correspondían a dos grupos genéticos que estaban relacionados a diferentes tonalidades, se observó que los individuos presentaban coloraciones de azul a rojo en el Océano Índico y de gris-verde a rojo-café en el Océano Pacífico (Benzie 1999). Actualmente, se sabe que dependiendo de la región geográfica o dieta los individuos de *Acanthaster* pueden tener diferentes patrones de coloración (Fabricius 2013), en el Océano Pacífico se ha observado colores grisáceos y verdes con papulas rojizas que forman anillos sobre el disco de la estrella (Haszprunar *et al.* 2017).

8.1.2 Distribución

Los primeros registros de equinodermos en el Golfo de California corresponden a recolectas y expediciones oceanográficas (Maluf 1988., Solís-Marín *et al.* 2005, 2013). Verrill (1870) fue el primero en describir la presencia de este asteroideo en el Golfo, seguido de Steinbeck y Ricketts en 1941 (2009), Caso (1961, 1972), Dana y Wolfson (1970), Barham *et al.* y Brusca (1973), De Alba (1978), Maluf (1988), Cintra-Buenrostro *et al.* (1998) y Solís-Marín *et al.* (1997).

La presencia de la estrella *Acanthaster cf. solaris* se registra desde Bahía de los Ángeles y Bahía de San Carlos (Herrero-Pérezrul *et al.* 2008; Barham *et al.* 1973), pasando por Santa Rosalía (Reyes-Bonilla *et al.* 2005) Punta Santa Inez, Punta Concepción (Barham *et al.* 1973) Loreto (Holguín-Quñones *et al.* 2000; Reyes-Bonilla *et al.* 2005; Luna-Salguero y Reyes-Bonilla 2010; Murillo-Cisneros 2012) Isla San José (Barham *et al.* 1973; Herrero-Pérezrul 2008; Holguín-Quñones *et al.* 2008; Rojero-Leon 2009) e Isla San Francisco (Barham *et al.* 1973). En la zona sur del Golfo de California se ha reportado su ocurrencia en Isla Espíritu Santo incluyendo sitios de la Bahía de La Paz (Reyes-Bonilla *et al.* 2005; Herrero-Pérezrul 2008; Castro-Peláez 2016), continuando por Isla Cerralvo (Herrero-Pérezrul 2008; Rojero-Leon 2009) Bahía de Los Muertos, Bahía Las Palmas y finalmente en Cabo Pulmo (Barham *et al.* 1973; Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera 1999; Rodríguez-Villalobos *et al.* 2015).

8.1.3 Biología

Teniendo como antecedente el primer y subsecuentes brotes de esta estrella observados a partir de 1950 en diferentes regiones del Indo-Pacífico (Chesher 1969, Yamaguchi 1986; Campbell y Ormond 1970; De Vantier y Done 2007), Caso redacta en 1972 una recopilación de trabajos experimentales y de gabinete realizados principalmente en la región del Indo-Pacífico, que describen diferentes aspectos de la biología de la especie. Teniendo conocimiento del potencial de este asteroideo para modificar y limitar el desarrollo y crecimiento de los corales (Goreau 1964) este trabajo comienza a discutir la problemática de esta especie depredadora en los sistemas coralinos.

En la década de los setenta comenzaron en el Golfo de California los primeros trabajos sobre la ecología de la estrella. Dana y Wolfson (1970) estudian su densidad, hábitos alimenticios y efectos de su depredación. Adicionalmente, han descrito aspectos de reproducción de la estrella para la región. Los autores encontraron que este asteroideo presenta una temporada de desove prolongada o continua durante el año, en esta, el reclutamiento puede suceder en varios meses, contrario a lo observado en la Gran Barrera Arrecifal donde ocurren eventos de reproducción altamente sincronizados en una sola época del año (noviembre a enero) (Fabricius 2013; Birkeland y Lucas 1990).

El trabajo de Barham y colaboradores (1973) es el único que presenta un estudio de desplazamiento de la estrella. Los autores observan que no existe una tendencia a la formación de agregaciones o migraciones de la población, aspectos importantes para el éxito reproductivo y aumento en su densidad (Ormond *et al.* 1973, Fabricius 2013). Por otro lado, Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera (1999) analizaron la abundancia, distribución espacial y consumo de coral de este equinodermo, encontrando que la baja densidad (1.9 ind/ha) y tasa de alimentación no determinan la abundancia de las comunidades coralinas en Cabo Pulmo (23°N).

Posteriormente, estudios como el Cintra-Buenrostro *et al.* (2005) registran su presencia entre los depredadores coralívoros en el Golfo de California, e incluso describen a esta estrella como uno de los asteroideos observados con mayor frecuencia en la Bahía de Loreto (Holguin-Quiñones *et al.* 2000). En el estudio realizado por Reyes-Bonilla *et al.* (2005) sobre las asociaciones de estrellas de mar en arrecifes rocosos en Santa Rosalía, Bahía Loreto y La Paz se registró una densidad de 15.4 ± 10.6 ind/ha, del mismo modo Holguin-Quiñones *et al.* (2008) observó la presencia de la estrella con una abundancia relativa de menos de 20 individuos en isla San José.

Consecuentemente, diferentes estudios sobre equinodermos en diversas regiones del Golfo de California registraron la densidad de este asteroideo, 30 ind/ha en el PNZMAES (González-Medina *et al.* 2006), 220 ± 16 ind/ha en isla San José, isla Cerralvo y el PNZMAES (Herrero-Pérezrul 2008), 1026 ± 182 ind/ha en el PNZMAES (Guzmán-Méndez 2009), 112 ± 28 ind/ha en el PNZMAES (Rojero-León 2009), 78 ± 16 ind/ha en Bahía Loreto y Ligüi (Luna-Salguero y Reyes-Bonilla 2010), 200 ± 10 ind/ha en Bahía Loreto y La Paz (Murillo-Cisneros 2012), 370 ind/ha en Cabo Pulmo (Rodríguez-Villalobos *et al.* 2015) y 500 ± 10 ind/ha a lo largo del Golfo de California (Hernández-Morales 2018).

8.2 Distribución espacial de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES)

En el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES) el asteroideo *Acanthaster cf. solaris* se encontró presente en 10 de los 14 sitios visitados (Figura 6).

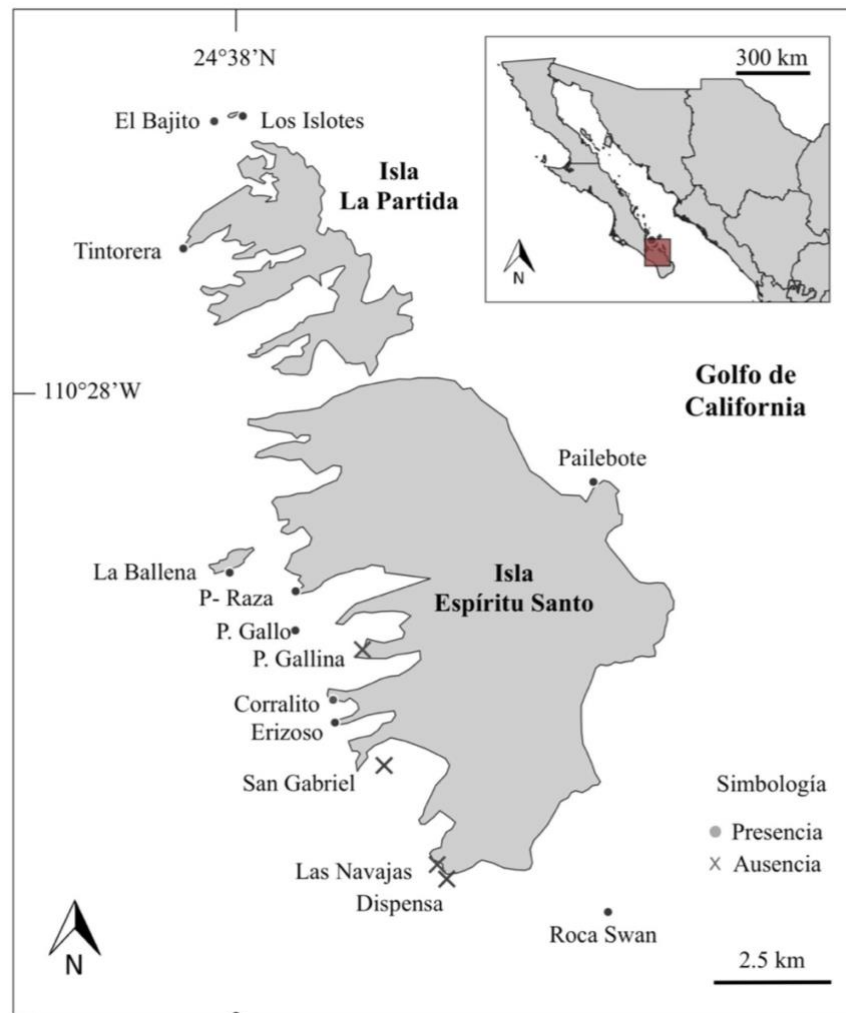


Figura 6. Ocurrencia de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo, La Paz, México.

8.3 Densidad poblacional y estructura de tallas de *Acanthaster cf. solaris*

8.3.1 Densidad poblacional

En el PNZMAES se registró una densidad promedio de 122 ± 267 ind/ha (0.012 ± 0.026 ind/m²) para *Acanthaster cf. solaris*. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($X^2=18.04$, $p<0.05$, $gl=8$) para el sitio Corralito (Empachado) (686 ± 524 ind/ha) siendo este el sitio con mayor densidad de estrellas, seguido de La Ballena (222 ± 300 ind/ha) y Roca Swan (133 ± 172 ind/ha) dentro del PNZMAES. Por su parte, los sitios Punta Gallo y Punta Raza (22 ± 54 ind/ha) resultaron tener los valores más bajos para la densidad de este asteroideo. En Dispensa, Las Navajas, Punta Gallina y San Gabriel no se encontraron individuos de *A. cf. solaris* (Figura 7) (Anexo 2).

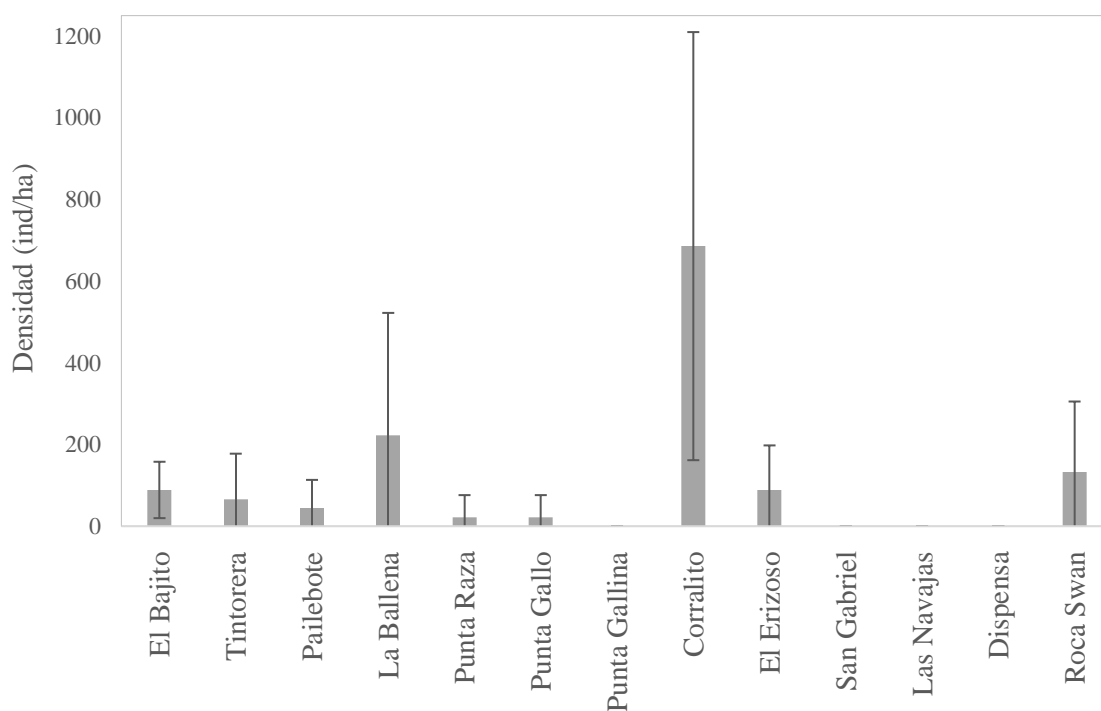


Figura 7. Densidad (promedio \pm DE) de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (sitios ordenados latitudinalmente de norte a sur).

* En Los Islotes no se logró obtener registros, por lo tanto no fue incluido en este análisis.

8.3.2 Estructura de tallas

Un total de 356 individuos fueron medidos en transectos de banda (n=168) y registros fotográficos (n=188) dentro del PNZMAES. La menor talla registrada durante este estudio corresponde a 3.81 cm de diámetro del disco, mientras que la talla mayor fue de 28 cm de diámetro. El intervalo de tallas con mayor frecuencia fue de 10 a 14.9 cm de diámetro del disco con 120 individuos, por el contrario, el intervalo de 0 a 4.9 cm de diámetro fue el menos frecuente con únicamente dos representantes (Figura 8).

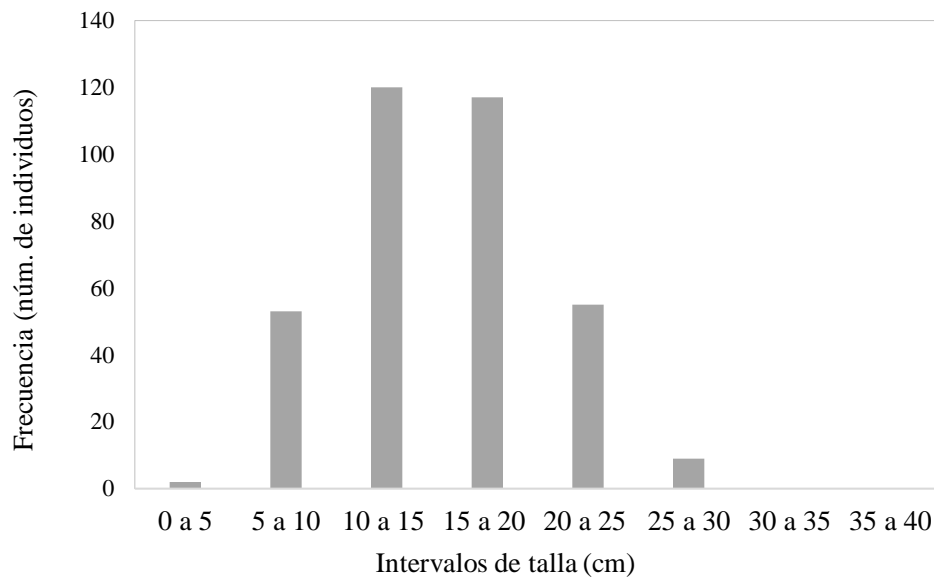


Figura 8. Intervalos de talla (cm) de *Acanthaster cf. solaris* en 10 sitios del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Los intervalos de tallas observados en los individuos de *Acanthaster cf. solaris* dentro del Parque corresponden a dos estadios de crecimiento diferentes. El 82% de los individuos (n=292) pertenecen al estadio juvenil-subadulto, mientras que el 18% restante (n=64) corresponden a un estadio adulto (Figura 9) (Tabla 1).

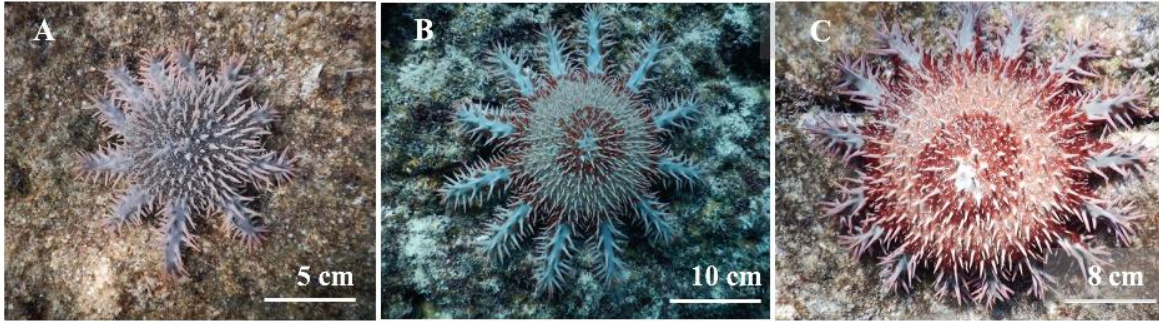


Figura 9. Estadios de desarrollo de *Acanthaster* cf. *solaris* de acuerdo a la categorización por Pratchett *et al.* (2014). A y B. Juvenil-Subadulto C. Adulto. Fotografía: Frida Sánchez.

El sitio Los Islotes estudiado a través del registro fotográfico fue el único que presentó tallas caracterizadas en su totalidad en un estadio juvenil-subadulto. Es importante resaltar que en este estudio no se encontraron individuos pertenecientes al estadio adulto senil (Tabla 1). En el análisis estadístico por tallas se encontraron diferencias significativas entre los sitios de acuerdo a las tallas de los individuos ($\chi^2=96.3$, $p<0.05$, $gl=9$). No obstante, estas diferencias no definen un patrón dentro del PNZMAES.

Tabla 1. Estructura de tallas (diámetro del disco) de la población de *Acanthaster cf. solaris* de acuerdo a la categorización por Pratchett *et al.* (2014) en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (sitios ordenados latitudinalmente de norte a sur).

Sitio	Individuos de <i>Acanthaster cf. solaris</i> por intervalos de tallas (cm)								Total
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	
Estadio	Juvenil-Subadulto				Adulto			Adulto Senil	
Los Islotes		11	4						15
El Bajito			3	4					7
Tintorera			5						5
Pailebote			1	1					2
La Ballena			6	1	4				11
Punta Raza					2	1			3
Punta Gallo				1					1
Corralito (Empachado)		10	57	75	26	6			174
El Erizoso				2	2				4
Roca Swan	2	40	52	29	11				134
Total	2	61	128	113	45	7	0	0	356

*Para Los Islotes se consideraron unicamente registros fotográficos.

8.4 Caracterización de sustrato y alimentación de *Acanthaster cf. solaris*

8.4.1 Sustrato asociado

Los individuos de *Acanthaster cf. solaris* observados (n=364) en el PNZMAES se encontraron asociados a diferentes sustratos: arena, roca, bloque, coral duro, coral blando, alga, alga calcárea, tapete y fragmentos de coral. El sustrato más frecuente fue coral duro en un 55% de las ocasiones (n=199 individuos) por el contrario, el coral blando (*Leptogorgia* sp.) fue el menos frecuente con apenas un registro (0.2%). Después del coral duro, se observó que el sustrato con más registros fue la roca (n=54) y el fragmento de coral (n=51) con un porcentaje de 15% y 14% respectivamente para todos los sitios. El sitio de Los Islotes fue el único que presentó un registro mayor para el sustrato rocoso en un 80% (n=10) (Figura 10).

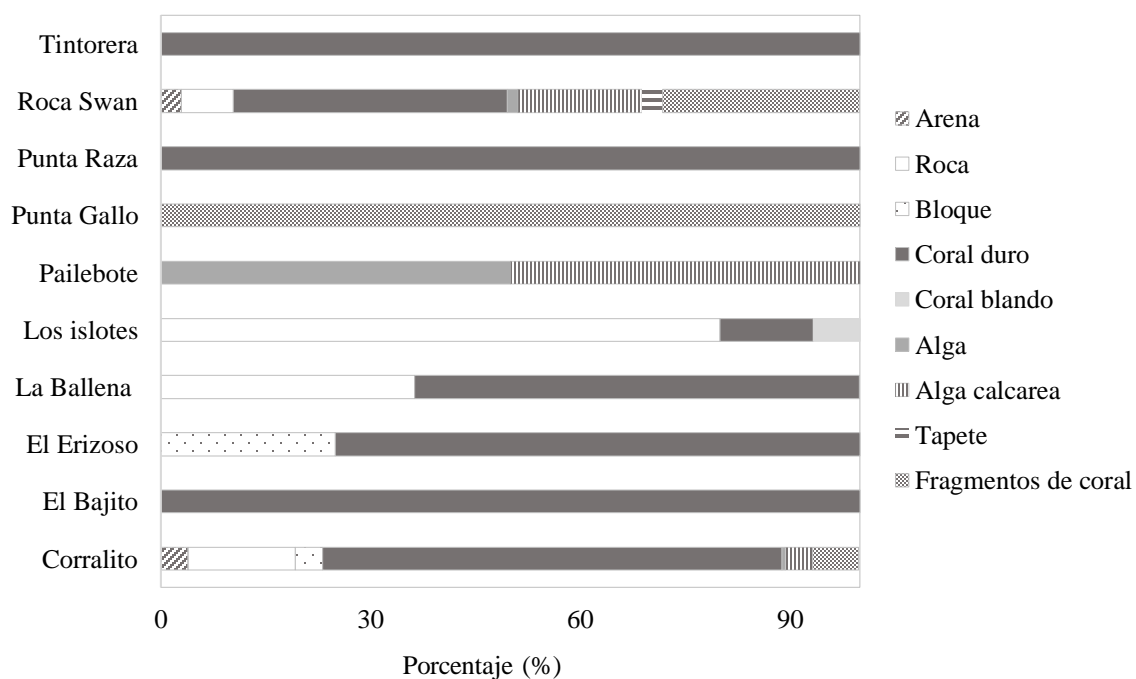


Figura 10. *Acanthaster cf. solaris* asociada a diferentes sustratos en 10 sitios del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. *Para Los Islotes se consideraron unicamente registros fotográficos.

8.4.2 Alimentación

Del total de individuos de *A. cf. solaris* (n=364), el 26% (n=94) se observaron únicamente posadas sobre el sustrato. En contraste, para el 64% (n=234) de las estrellas se logró determinar su alimentación al observar la exposición del estomago sobre su presa. Para el 10% (n=36) de los individuos no logró determinarse su alimentación, pues las estrellas se encontraban en oquedades o ramificaciones de corales que impedían su observación (Tabla 2).

Tabla 2. Sustrato y alimento asociado a *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. Sustratos: A. Arena, R. Roca, BL. Bloque, CD. Coral duro, CB. Coral Blando, AL. Alga, AC. Alga calcárea, T. Tapete, FC. Fragmentos de coral.

Alimentación de <i>Acanthaster cf. solaris</i>																					
Sustrato	No								Si						No definido*					Total	
	A	R	BL	CD	AL	AC	T	FC	R	CD	CB	AL	AC	T	FC	A	R	CD	AL		FC
Corralito (Empachado)	5	13	7	6	1	7		11	4	108					1	2	11	5			181
El Bajito										7											7
El Erizoso			1							3											4
La Ballena		4								7											11
Los islotes		3								2	1						9				15
Pailebote					1								1								2
Punta Gallo														1							1
Punta Raza										3											3
Roca Swan	3	4		10		5	3	10	4	41		1	19	1	25	1	2	2	1	3	135
Tintorera										5											5
Total	8	24	8	16	2	12	3	21	8	176	1	1	20	1	27	3	22	7	1	3	364
	94								234						36						

*No definido: individuos observados en oquedades y ramificaciones de corales a los cuales no se logró determinar su alimentación. Para Los Islotes se consideraron únicamente registros fotográficos.

Una total de 176 individuos de *A. cf. solaris* se alimentaron de coral duro. El 41% (n=72) de las estrellas de la especie *Pocillopora* sp. El 37% (n=66) de *Porites panamensis* y sólo el 22% de *Pavona gigantea*. Para la especie *Psammocora* sp. no se obtuvieron registros. En el sitio Corralito se observó una mayor cantidad de individuos alimentandose de las especies de coral *Porites panamensis* (n=45) y *Pavona gigantea* (n=33). En contraste, en el sitio Roca Swan se registró una mayor cantidad de estrellas (n=32) alimentandose de la especie *Pocillopora* sp. (Tabla 3).

Tabla 3. Alimentación de *Acanthaster cf. solaris* (n) por especie de coral en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Sitio	Especies de coral			Total
	<i>Pocillopora</i> sp.	<i>Porites</i> <i>panamensis</i>	<i>Pavona</i> <i>gigantea</i>	
Corralito (Empachado)	30	45	33	108
El Bajito	3	4		7
El Erizoso		3		1
La Ballena	4	2	1	7
Los islotes	2			3
Punta Raza	1	2		1
Roca Swan	32	5	4	41
Tintorera		5		5
Total	72 (41%)	66 (37%)	38 (22%)	176

8.4.3 Selección de recurso

Dado que se observó una alimentación de *A. cf. solaris* del 75% (n=176) por corales escleractinios, para el análisis de selección de recurso se tomaron en cuenta las especies *Pocillopora* sp., *Porites panamensis* y *Pavona gigantea*. De las 5209 colonias disponibles de *Pocillopora* sp., el 5% fueron depredadas. Del mismo modo, de un total de 2378 colonias de *Porites panamensis* el 6% presentó lesiones de depredación. En contraste, para la especie de coral *Pavona gigantea* se observó un total de 69 colonias disponibles con una depredación del 22% (Tabla 4).

Tabla 4. Colonias depredadas (dep) y disponibles (dis) por *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Sitio	<i>Pocillopora</i> sp.		<i>Porites panamensis</i>		<i>Pavona gigantea</i>	
	Dep	Dis	Dep	Dis	Dep	Dis
Corralito (Empachado)	86	347	109	428	15	24
Dispensa	41	1514	0	386	0	7
El Bajito	19	54	0	1	0	0
El Erizoso	5	168	4	424	0	6
La Ballena	21	79	16	59	0	0
Las Navajas	18	917	1	286	0	7
Pailebote	26	59	0	107	0	0
Punta Gallina	3	75	0	62	0	0
Punta Gallo	8	490	4	238	0	1
Punta Raza	16	236	9	313	0	5
San Gabriel	0	441	0	0	0	0
Roca Swan	29	787	0	52	0	19
Tintorera	9	42	0	22	0	0
Total	281 (5%)	5209	143 (6%)	2378	15 (22%)	69

* En Los Islotes no se logró obtener registros, por lo tanto no fue incluido en este análisis.

De manera general los resultados describen que *A. cf. solaris* se alimenta de la especie de coral *Pocillopora* sp. de acuerdo con su disponibilidad en los sitios monitoreados dentro del PNZMAES. Sin embargo, para La Ballena, Las Navajas y Punta Raza este recurso podría tener una tendencia preferida. El sitio El Erizoso, es el único que presenta una definida preferencia por *Pocillopora* sp. (Figura 11).

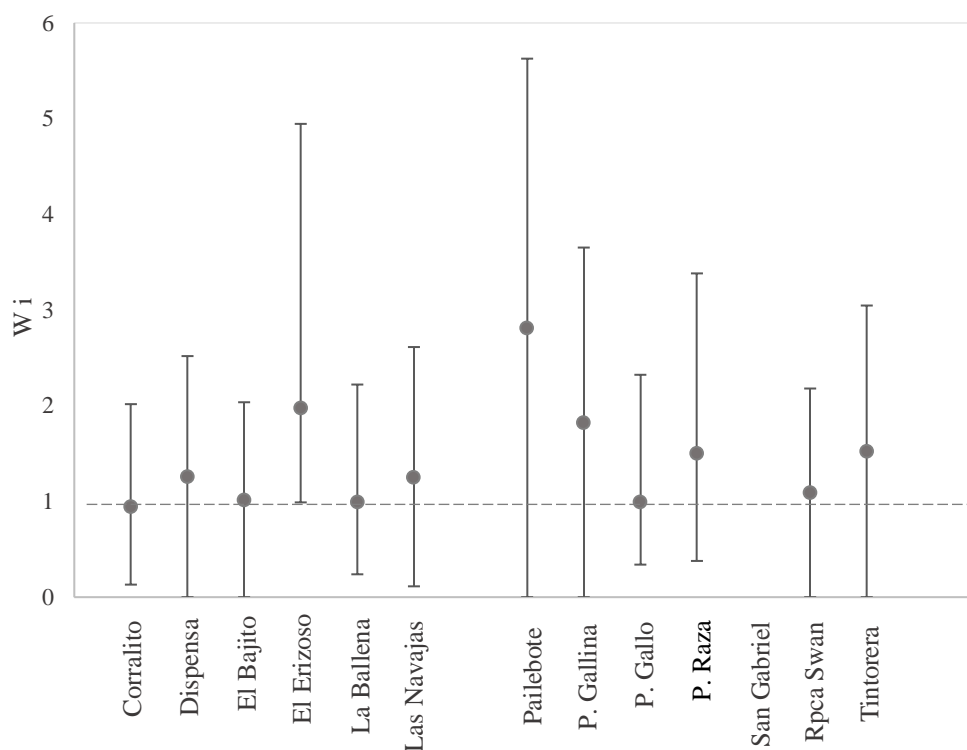


Figura 11. Selección del recurso (valores de W_i e intervalos de confianza de Bonferroni) para la especie de coral *Pocillopora* sp. en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. Valores entre 0 y >1: el consumo es proporcional a la disponibilidad del recurso, >1 preferencia por el recurso, < 1 recurso es evitado por la estrella.

Respecto a la especie *Porites panamensis* se observó una tendencia en la preferencia del recurso en los sitios La Ballena y Punta Gallo. Por otro lado, en Punta Raza, El Erizoso y Corralito se registró un consumo de acuerdo a la disponibilidad de la especie. Las Navajas fue el único sitio en donde la estrella evito el recurso. La depredación de la especie de coral *Pavona gigantea* fue observada unicamente en el sitio Corralito. De acuerdo con el análisis, en este sitio la estrella tiene una evidente preferencia por el recurso (Figura 12).

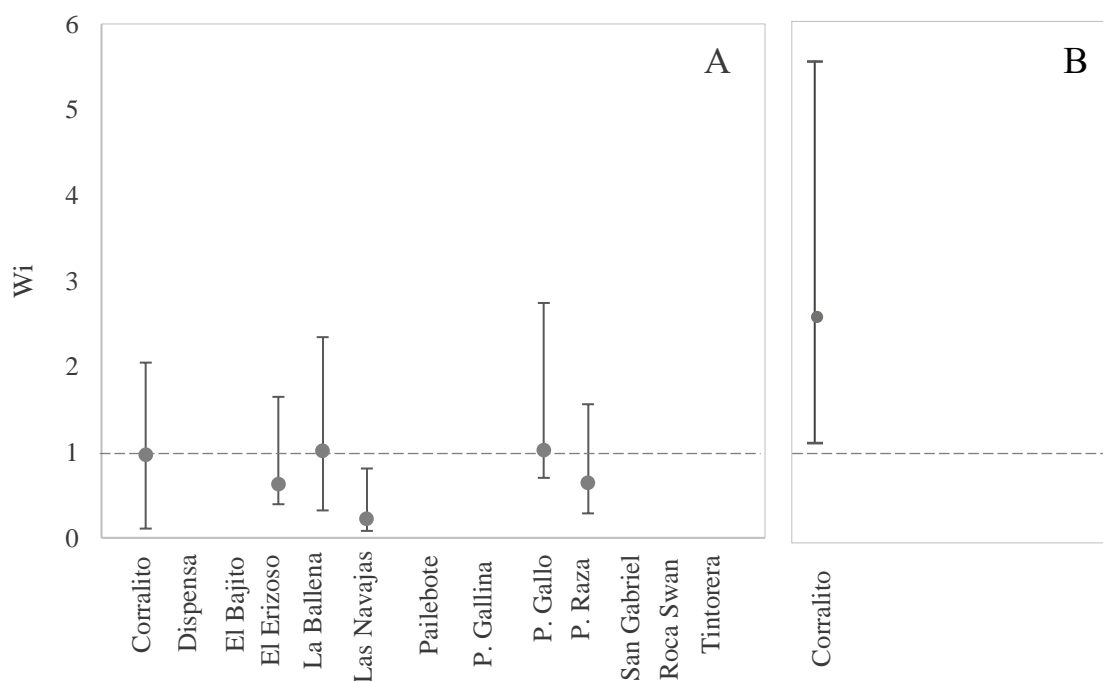


Figura 12. Selección del recurso (W_i e intervalos de Bonferroni) para las especies de coral *Porites panamensis* (A) y *Pavona gigantea* (B) en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. Valores entre 0 y >1: el consumo es proporcional a la disponibilidad del recurso, >1 preferencia por el recurso, < 1 recurso es evitado por la estrella.

8.5 Grado de amenaza de la estrella

8.5.1 Prevalencia

De 7,656 colonias observadas en el PNZMAES, el 6% (n=439) presentó lesiones ocasionadas por la depredación de *Acanthaster cf. solaris* (Figura 13). En los sitios El Bajito (35%, n=19), La Ballena (27%, n=37) y Corralito (Empachado) (26%, n=210) se encontró la mayor prevalencia de depredación por la estrella. En contraste, El Erizoso (2%), Las Navajas (2%) y Punta Gallo (2%) se registran los valores más bajos. San Gabriel fue el único sitio donde no se observó depredación alguna sobre las colonias de coral (Tabla 5). El análisis de X^2 reveló una heterogeneidad significativa en la presencia de lesiones y los sitios ($X^2=1027$, $p<0.05$, $gl=12$) indicando que existe cierta dependencia entre el sitio y la depredación de la estrella.

Tabla 5. Colonias sanas y lesionadas (observadas y esperadas) y prevalencia (%) asociada a la depredación de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Sitio	Colonias Lesionadas		Colonias Sanas		Total	Prevalencia
	Obs	Esp	Obs	Esp		(%)
Corralito (Empachado)	210	46	589	753	799	26
Dispensa	41	109	1866	1798	1907	2
El Bajito	19	3	36	52	55	35
El Erizoso	9	34	589	564	598	2
La Ballena	37	8	101	130	138	27
Las Navajas	19	69	1191	1141	1210	2
Pailebote	26	10	140	156	166	16
Punta Gallina	3	8	134	129	137	2
Punta Gallo	12	42	717	687	729	2
Punta Raza	25	32	529	522	554	5
San Gabriel	0	25	441	416	441	0
Roca Swan	29	49	829	809	858	3
Tintorera	9	4	55	60	64	14
Total	439		7217		7656	6

* En Los Islotes no se logró obtener registros, por lo tanto no fue incluido en este análisis.

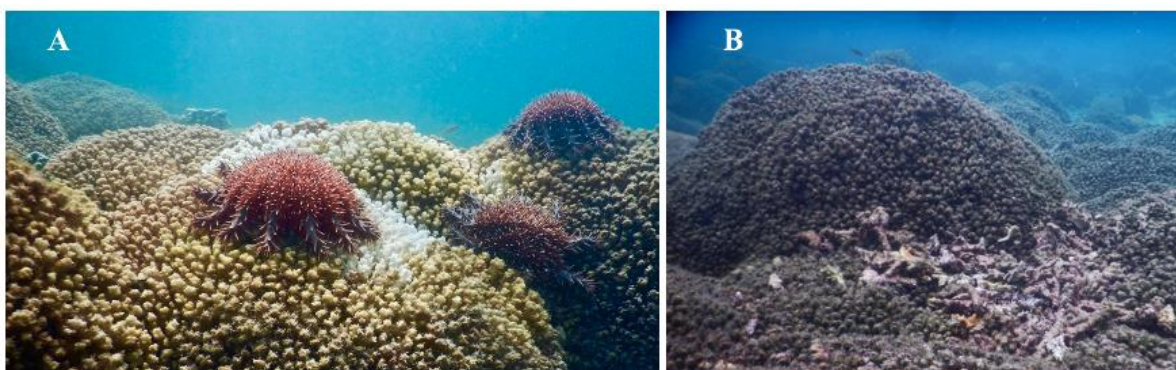


Figura 13. A. Individuos de *Acanthaster cf. solaris* alimentándose sobre *Pocillopora* sp. B. Colonias de coral cubiertas por algas tras la depredación de la estrella en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo. Fotografía: Frida Sánchez.

9. DISCUSIÓN

Acanthaster cf. solaris es un asteroideo poco estudiado en el Golfo de California. La mayoría de los trabajos revisados durante esta investigación están enfocados al estudio general de los invertebrados y sólo algunos describen específicamente características biológicas y ecológicas de la especie. Hasta el momento, el trabajo realizado por Hernández-Morales (2018) es el único en el Pacífico Mexicano que estudia la identidad de la estrella a través de un análisis genético encontrando que los individuos pertenecen al clado de *Acanthaster planci* en el Pacífico. Del mismo modo, con relación a los estudios taxonómicos, sólo el trabajo de Parada (2019) ha descrito la observación de dos morfotipos de la región del Pacífico (México y Hawaii) con diferencias en pedicelarios y placas abactinales.

A pesar de que algunos trabajos han estudiado caracteres morfológicos de la estrella encontrando diferencias entre poblaciones y ubicación geográfica (Benzie 1999; Haszprunar *et al.* 2017), los estudios taxonómicos parecen ser insuficientes para complementar la teoría de la diferenciación genética de las especies agrupadas como *Acanthaster planci* (Vogler *et al.* 2008), que aún con numerosos esfuerzos de investigación en los últimos 30 años (Haszprunar y Spies 2014; Haszprunar *et al.* 2017) es poco reconocida en la comunidad científica. Considerando lo anterior, es evidente que la

elaboración de estudios sobre la taxonomía de este asteroideo es necesaria para resolver los debates actuales en la región del Pacífico Oriental. La definición de la identidad de esta estrella resulta ser el eje principal para su estudio, pues al ser considerada como un equinodermo con gran influencia en los ecosistemas coralinos (Rotjan y Lewis 2008), es de gran importancia el desarrollo de estudios biológicos en todos los campos para comprender mejor el comportamiento de *A. cf. solaris* como depredador en el PNZMAES.

Dentro del PNZMAES *Acanthaster cf. solaris* se encontró presente en 10 de los 14 sitios visitados y no presenta un patrón que corresponda con los sitios de mayor cobertura coralina. A pesar de que varios trabajos describen la relación entre la distribución de la estrella y los corales (Guzmán-Méndez 2009 y Fabricius 2013) en el PNZMAES se encontró que la presencia de la estrella no está relacionada precisamente con la distribución y abundancia de los corales. Como evidencia de ello se encuentra el sitio San Gabriel con la mayor cobertura coralina y considerada zona núcleo de conservación del PNZMAES. Desde el estudio realizado en la región por Barham *et al.* (1973), hasta la actualidad no se ha reportado la presencia de la estrella en este sitio a pesar de la importante cobertura coralina del género *Pocillopora* (Murillo-Cisneros 2012; Castro-Peláez 2016; Ulate-Naranjo 2016). Así mismo, los trabajos de Herrero-Pérezrul (2008) y Hernández-Morales (2018) corroboran que este asteroideo no está precisamente relacionado a los corales, encontrando individuos asociados frecuentemente a zonas rocosas en el Golfo de California.

En el PNZMAES se encontró una densidad de 122 ± 267 ind/ha de *Acanthaster cf. solaris*. A pesar de que el valor obtenido no puede compararse directamente con los representados en estudios semejantes por la temporalidad y área de muestreo, podemos definirla como un valor medio, siendo superado por lo reportado por Guzmán-Méndez (2009), Herrero-Pérezrul (2008) y Murillo-Cisneros (2012) y mayor a los valores observados por Rojero-León (2009), Dana y Wolfson (1970) y González-Medina *et al.* (2006) (Tabla 6).

Tabla 6. Densidad promedio (ind/ha±DE/SE) de *Acanthaster cf. solaris* reportada en diferentes regiones del Golfo de California y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Referencia	Zona de estudio	Periodo de estudio	Densidad (ind/ha)
Dana y Wolfson (1970)	Isla San Francisco	1970	45
	Isla San José		
	Isla Espíritu Santo y San		
	Gabriel.		
Barham et al. (1973)	Puerto Escondido	1970-1971	50
Reyes-Bonilla y Calderon-Aguilera (1999)	Cabo Pulmo	1991-1992	1.9
Reyes-Bonilla et al. (2005)	Santa Rosalía	2004	15.4 ± 10.6 (SE)
	Loreto		
	Bahía La Paz		
González-Medina et al. (2006)	Isla Espíritu Santo	2001-2002	30
Herrero-Pérezrul (2008)	Isla San José	2005-2007	220 ± 16
	Isla Espíritu Santo		
	Isla Cerralvo		
Guzmán-Méndez (2009)	Isla Espíritu Santo	2005-2007	1026 ± 182 (SE)
Rojero-León (2009)	Isla Espíritu Santo	2005-2006	112 ± 28 (SE)
Luna-Salguero y Reyes-Bonilla (2010)	Loreto	2007	78 ± 16 (SE)
	Ligüi		
Murillo-Cisneros (2012)	Bahía La Paz (Isla Espíritu	2005-2009	200 ± 10 (SE)
	Santo)		
	Bahía Loreto		
Rodríguez-Villalobos et al. (2015)	Cabo Pulmo	2013	370
Hernández-Morales (2018)	Golfo de California	2004-2016	500 ± 10
Sánchez-Luna (2020)	Isla Espíritu Santo	2018	122 ± 267 (DE)

*Los valores de densidad reportados en ind/m² fueron transformados a ind/ha. La variación (DE/SE) se reportó para los estudios en los que se encontró disponible.

Entre los sitios monitoreados, Corralito (Empachado), La Ballena y Roca Swan presentaron las densidades más altas con valores de 686 ± 524 ind/ha, 222 ± 300 ind/ha y 133 ± 172 ind/ha respectivamente. Moran y De'ath (1992) estimaron para el Indo Pacífico que la densidad de más de 15 ind/ha de *Acanthaster cf. solaris* es considerado como un brote. Sin embargo, la definición de este ha sido discutida pues varía entre las poblaciones de acuerdo con la densidad de los individuos (Moran 1986). Según Fabricius (2013) los brotes se definen como la densidad de la estrella en la cual su tasa de consumo excede la tasa de crecimiento de los corales y pueden variar entre cientos y millones de individuos de estrellas dependiendo del tamaño del arrecife y la cobertura de coral.

Tomando en cuenta los valores de densidad obtenidos en este estudio, específicamente lo observado en el sitio Corralito y considerando que las formaciones coralinas en el PNZMAES no son comparables con las estructuras arrecifales del Indo-Pacífico, es necesario evaluar el tamaño de las comunidades coralinas, cobertura (Fabricius 2013) composición, además de la prevalencia de lesiones en los corales asociadas con la depredación, densidades y tallas registradas de la estrella, para estimar el valor de un brote poblacional en la zona, pues hasta el momento no hay antecedentes ni una definición del mismo. Según Moore (1990) es importante considerar además la temporalidad o persistencia de la densidad de este asteroideo en el tiempo para definir un brote poblacional.

La estructura de tallas obtenida en este estudio describe que la población de *Acanthaster cf. solaris* se compone de dos estadios, juvenil-subadulto y adulto. De acuerdo con la estimación de edad de 0.5 a 2 años y de 2 a 5 años respectivamente (Pratchett et al. 2014), el registro de la estrella en dos estadios de crecimiento podría estar relacionado con la temperatura. Si bien esta variable no fue medida durante este trabajo, se sabe que tiene una gran influencia en las primeras etapas del desarrollo de los invertebrados como *Acanthaster* (Lamare et al. 2014). Durante el 2015 y 2016 se reportó el aumento en la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico causado por el evento El Niño (NOAA 2015), esto puede acelerar el crecimiento de los individuos, incrementar la sobrevivencia larval (Yasuda et al. 2010; Pecorino et al. 2013) y consecuentemente

aumentar la densidad de los individuos, resultando en los estadios actuales para la población observada en el PNZMAES.

La estructura poblacional observada en este estudio podría ayudar a comprender el origen del aumento de la densidad de *Acanthaster cf. solaris* en los sitios Corralito (Empachado), La Ballena y Roca Swan anteriormente descritos dentro del PNZMAES. El termino de brote primario descrito en los trabajos de Fabricius (2013) y Pratchett *et al.* (2014) señala que los individuos de la población se originan a través de un único evento de reclutamiento larval y se puede observar en la población cuando los individuos son de tallas similares. De manera diferente, los brotes secundarios ocurren en consecuencia de los primarios a través de varios eventos de reclutamiento sucesivos donde se pueden observar individuos de la estrella pertenecientes a varios estadios de crecimiento, que además se caracterizan por presentar un aumento gradual de densidad en varios años. Así pues, considerando que la población estudiada se agrupa únicamente en dos estadios, en el PNZMAES pudo haber ocurrido la formación de un brote primario resultando consecuentemente en una alta densidad de individuos de *A. cf. solaris* observada a partir del 2017.

Adicionalmente las tallas de los individuos de *Acanthaster cf. solaris* mostraron diferencias entre los sitios, sin embargo, éstas no describen una distribución definida dentro del PNZMAES. La diferencia entre las tallas de este asteroideo podría estar relacionada con el alimento disponible en cada sitio. A lo largo del PNZMAES se pueden observar diferentes tipos de sustrato, en la región norte domina la presencia de arrecifes rocosos con la presencia de algunas colonias de coral. Por su parte, en la región sur se alberga una mayor proporción de cobertura coralina (Reyes-Bonilla y López-Pérez 2009). El trabajo realizado por Pratchett *et al.* (2014) describe que de acuerdo con el estadio de crecimiento la estrella puede presentar una dieta diferente, donde los juveniles-subadultos desarrollan un cambio de alimentación de alga coralina a coral y los adultos una dieta principalmente coralívora (Fabricius 2013). De este modo, los individuos de *Acanthaster cf. solaris* podrían presentar diferentes tallas entre sitios de acuerdo con el estadio de crecimiento asociado a sus necesidades alimenticias.

La asociación de *Acanthaster cf. solaris* a diferentes tipos de sustrato complementa la observación de las tallas de los individuos mencionada anteriormente. En el PNZMAES las estrellas se encontraron asociadas a arena, roca, bloque, alga, alga calcárea, tapete, fragmentos de coral, coral blando y coral duro en diferente proporción según el sitio. No obstante, la predominancia en la observación de estrellas sobre coral duro fue evidente en la mayoría de los sitios. Los registros obtenidos en este estudio describen que la estrella presenta hábitos coralívoros alimentándose principalmente de las especies de coral *Pocillopora* sp. y *Porites panamensis*, siendo el primero, dominante. Estudios previos en la región describen un mayor registro de organismos alimentándose de la especie de coral *Porites panamensis* (Dana y Wolfson 1970; Barham *et al.* 1973), en contraste en trabajos posteriores como el de Rodríguez-Villalobos *et al.* (2015), Hernández-Morales (2018) y Rodríguez-Villalobos y Ayala-Bocos (2018) se ha registrado una mayor proporción de individuos alimentándose de las especies *Pocillopora* sp. y *Pavona gigantea*. Este cambio en la dieta de la estrella observado en los últimos años coincide con el huracán Odile en el 2014 (Berg y Kimberlain 2015). Durante este evento ocurrió la fragmentación de colonias de *Pocillopora* sp. las cuales pudieron volverse accesibles a la depredación de este asteroideo. De manera similar, en el trabajo realizado por Glynn (1990) en Panamá se reportó un cambio en la dieta en la estrella debido al acceso a los corales que obtuvieron tras la ruptura del marco arrecifal, resultado del evento El Niño en 1983. A pesar de los antecedentes descritos, es necesario realizar un estudio exhaustivo que permita comprender mejor el aparente cambio de dieta registrado para *A. cf. solaris* en esta región.

El análisis de selección del recurso entre las especies de coral *Pocillopora* sp., *Porites panamensis* y *Pavona gigantea* en el PNZMAES se observó de manera diferente entre los sitios. Diversos estudios han descrito que la accesibilidad, morfología, valor nutricional de los corales, así como su defensa (e.g. filamentos mesentéricos, nematocistos, metabolitos secundarios, infauna asociada) e incluso su estado nutricional y experiencia previa en su dieta (Moran 1986; De'ath y Moran 1998; Pratchett 2007; Pratchett *et al.* 2014) son algunos de los factores que influyen en la preferencia alimenticia de la estrella.

En este estudio, la especie *Pocillopora* sp. resultó ser preferida en algunos sitios a pesar de presentar una morfología más compleja acompañada de cangrejos defensores (*Trapezia* sp.), que se sabe bien tienen una gran influencia sobre la elección de la estrella (Birkeland 1989; Pratchett 2001). Esta preferencia obedece a la teoría sobre la elección de presas con mayor aporte energético (Pratchett 2007) pues de acuerdo con lo encontrado por Keesing (1990) el género de coral *Porites* presenta los niveles más bajos de proteínas. No obstante, es necesario considerar otros aspectos como la distribución y abundancia de los corales, condiciones ambientales locales (e.g. acción del oleaje, corrientes), competencia, entre otros que podrían explicar la elección de *Acanthaster* cf. *solaris* (Moran 1986; De'ath y Moran 1998; Pratchett 2007). El interés de *A. cf. solaris* por alimentarse de otro tipo de presa puede ser el resultado de competencia intraespecífica cuando las densidades de la estrella son altas (Moore 1978). Este comportamiento se observa en regiones con baja disponibilidad de alimento donde los individuos se ven obligados a desplazarse a otras zonas en busca de alimento (Barham *et al.* 1973; Keesing y Lucas 1992; Pratchett *et al.* 2014; Sigl *et al.* 2016).

En el sitio Corralito se observó una particular preferencia de la estrella por el coral *Pavona gigantea*. Este comportamiento podría describir la preferencia de *Acanthaster* cf. *solaris* según la morfología de los corales. El género *Pavona* es caracterizado como un coral masivo que comparado con el género *Pocillopora* con una morfología ramificada, otorgan una mayor superficie disponible y cantidad de tejido del cual las estrellas pueden alimentarse (Keesing 1990). La depredación por *A. cf. solaris* en los corales masivos de la especie *Pavona gigantea* en este sitio resulta en la pérdida de colonias de aproximadamente 300 años (Rodríguez-Villalobos y Ayala-Bocos 2018) que han resistido diferentes perturbaciones (e.g. huracanes, eventos El Niño) ocurridas históricamente en la región. Debido a que el género *Pavona* presenta un nivel de reclutamiento y tasas de crecimiento bajas, la recuperación de estas colonias tras una alta depredación como la observada en este estudio por este asteroideo podría tomar décadas (Endean *et al.* 1988; Guzmán y Cortes 1989; De Vantier y Done 2007). Es importante señalar que durante esta investigación sólo algunos individuos de *A. cf. solaris* fueron observados alimentándose de otro recurso diferente a corales escleractinios como algas calcáreas (8%) y coral blando del género

Leptogorgia (1%). En contraste, en otros estudios se ha observado con frecuencia la alimentación de la estrella por organismos como briozoarios, macroalgas (*Padina* sp.) y otros géneros de coral blando como *Pacifigorgia* (Barham *et al.* 1973; Herrero-Pérezrul 2008; Guzmán-Mendéz 2009).

De las 7,656 colonias observadas dentro del PNZMAES, el 6% (n=439) presentaron una lesión por la depredación de *Acanthaster* cf. *solaris*. El sitio Corralito presentó uno de los porcentajes más altos (26%). Considerando la alta densidad y comportamiento alimenticio descrito anteriormente en este trabajo, además de la prevalencia en los corales se sugiere, considerando la definición de Fabricius (2013), la presencia de un brote poblacional primario en este sitio. Por su parte, los altos porcentajes de prevalencia observados para los sitios El Bajito (35%) y La Ballena (27%) coinciden de igual manera entre los sitios con valores altos de densidad de *A. cf. solaris* y alimentación de corales escleractinios reportados en este estudio. Por su parte, el análisis de heterogeneidad reveló cierta dependencia de las estrellas a los sitios con depredación. Considerando que la distribución de la estrella no corresponde a los sitios con mayor cobertura coralina, es posible que otros factores como corrientes, oleaje, protección del sitio e incluso la composición de la comunidad de peces e invertebrados, influyan en la presencia y alimentación de *A. cf. solaris*.

La depredación por este equinodermo ha sido observada en el sur del Golfo de California, incluyendo la Isla Espíritu Santo desde 1970 considerándose una problemática debido al lento crecimiento, escasa distribución y pequeñas formaciones coralinas de la zona (Dana y Wolfson 1970; Enochs y Glynn 2017). Varios estudios posteriores han considerado que este asteroideo no representa un riesgo para las comunidades coralinas en la zona (Barham *et al.* 1973; Reyes-Bonilla y Calderón Aguilera 1999; Castro-Peláez 2016). No obstante, hasta el momento ninguno de los trabajos previos ha evaluado el grado de amenaza de la estrella en el PNZMAES a través de la prevalencia en los corales.

La importancia en el estudio de la prevalencia asociado a la depredación de *Acanthaster cf. solaris* radica en ser un indicador del estado de amenaza de la estrella. La depredación de este asteroideo caracterizada por una cicatriz blanca por la pérdida de tejido (Fabricius 2013; Rodríguez-Villalobos *et al.* 2015) puede indicar el estado del brote poblacional de la estrella. De acuerdo con Work y Aeby (2006) la presencia de cicatrices blanquecinas podría indicar una herida o lesión infringida con pocas horas de antelación a la observación, lo que nos sugiere una depredación reciente y activa de la estrella. Por el contrario, una dominancia de algas sobre las cicatrices podría describir una lesión con más tiempo de evolución (semanas a meses) por este depredador. Así mismo, estas lesiones pueden volverse una marca histórica espacial y temporal dependiendo del evento de depredación. Por ejemplo, según lo descrito por De Vantier y Done (2007) numerosas cicatrices en corales masivos ponen en evidencia brotes poblacionales de la estrella ocurridos en años e incluso décadas anteriores. Adicionalmente, la prevalencia puede ser utilizada como una herramienta de predicción sobre la pérdida de cobertura coralina. De acuerdo con el trabajo realizado por Cumming (2002) las colonias de corales con lesiones antiguas y recientes por depredación pueden presentar mortalidad. Cuando ocurre una pérdida de tejido por una constante depredación, tal como la observada por *A. cf. solaris*, la mortalidad de los corales es más probable y causa grandes efectos en la estructura arrecifal.

Entre los efectos de la depredación de *Acanthaster planci* se ha descrito que el cambio de fase de los corales donde pasan a ser dominados por algas (McManus y Polsenberg 2004; Uthicke *et al.* 2009; Fabricius 2013), ocasiona una rápida disminución en la cobertura coralina y degradación de los arrecifes de coral afectando la biomasa y complejidad ecológica incluyendo la diversidad de especies que dependen de este ecosistema (De Vantier y Done 2007; Pratchett *et al.* 2017). Así mismo, estudios como el de Nugues y Bak (2009) y Katz *et al.* (2014) han encontrado que los corales que son depredados por este asteroideo son más susceptibles a enfermedades como la “banda café”, pues la estrella funge como un vector al alimentarse de diferentes colonias de coral y además la formación de la cicatriz promueve la entrada de patógenos y virus al reducir las defensas del coral. Teniendo en cuenta que la depredación de *Acanthaster cf. solaris* en las comunidades coralinas del PNZAMES podría tener grandes efectos en el ecosistema que

pueden variar en diferentes escalas de acuerdo con las características del arrecife y depredación de la estrella (e.g. tasa y preferencia alimenticia) (Pratchett *et al.* 2014) es necesario considerar que el registro de la prevalencia en los corales es una herramienta invaluable para estudiar este asteroideo y definir la presencia de brotes poblacionales en la región.

10. CONCLUSIÓN

En la región del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (PNZMAES) el estudio de *Acanthaster cf. solaris* se encuentra limitado a aspectos en su ocurrencia, densidad y alimentación. De la misma manera, persiste una gran incertidumbre acerca de la taxonomía de la especie.

La distribución espacial de *Acanthaster cf. solaris* dentro del PNZMAES indica que la presencia de la estrella no está relacionada precisamente con la distribución y abundancia de los corales.

En el PNZMAES se registró una densidad de 122 ± 267 ind/ha de *Acanthaster cf. solaris* en el año 2018.

La población de *Acanthaster cf. solaris* está conformada principalmente por individuos juvenil-subadultos y adultos.

Acanthaster cf. solaris se encuentra asociada a diferentes tipos de sustrato siendo el coral duro el principal. La estrella se alimenta principalmente de corales escleractinios de las especies *Pocillopora* sp. y *Porites panamensis*, la elección de este recurso puede variar entre los sitios.

Dentro del PNZMAES el 6% de las colonias presentaron lesiones ocasionadas por la depredación de *Acanthaster cf. solaris*. El sitio Corralito presentó un porcentaje alto de prevalencia correspondiente a la alta depredación de la especie *Pavona gigantea* que asociada a la alta densidad reportada en este estudio podrían indicar la presencia de un brote poblacional.

11. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio es necesario desarrollar esfuerzos en la investigación de diferentes áreas como taxonomía, reproducción, asentamiento larval, crecimiento, mortalidad, su relación con variables oceanográficas, entre muchas otras que permitan describir de manera global e integra esta especie en la región.

Dado los antecedentes de depredación de este asteroideo se sugiere desarrollar el monitoreo permanente de las comunidades arrecifales dentro del Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo que permita observar aspectos biológicos y ecológicos de esta especie en el tiempo.

Aspectos como la prevalencia en los corales es de gran relevancia para futuros eventos de depredación de la estrella. En estudios posteriores se sugiere tomar en cuenta su monitoreo en campo para poder identificar el grado de amenaza de *Acanthaster cf. solaris*, así como para definir el valor de brote poblacional en esta región.

Es necesario profundizar en la influencia de la depredación de *Acanthaster cf. solaris* en las comunidades coralinas de los sitios con mayor densidad de esta estrella, pues hasta el momento se desconoce el impacto en la fauna, estructura y dinámica de estos ecosistemas dentro del Parque.

LITERATURA CITADA

- Barham, E. G., R. W. Gowdy y F. H. Wolfson. 1973. *Acanthaster* (Echinodermata, Asteroidea) in the Gulf of California. *Fishery Bulletin* 71(4): 927-942.
- Benavides-Serrato, M., G. H. Borrero-Pérez y C. M. Díaz-Sánchez. 2011. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar 22. Santa Marta. 384 pp.
- Benzie, J. A. H. 1999. Major genetic differences between crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) populations in the Indian and Pacific oceans. *Evolution* 53(6): 1782-1795.
- Berg, R. y T. Kimberlain. 2015. The 2014 Eastern North Pacific hurricane season: a very active season brings devastation. *Weatherwise* 68(3): 36-45.
- Birkeland, C. 1989. The influence of echinoderms on coral-reef communities. *En: Jangoux M. y J. M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies 3. Rotterdam, Netherlands: Balkema, pp. 1-77.*
- Birkeland, C. y J. S. Lucas. 1990. *Acanthaster planci*: Major Management Problem of Coral Reefs. CRC Press, Boca Raton, Florida. 272 pp.
- Branham, J. M. 1973. The Crown of Thorns on Coral Reefs. *BioScience* 23(4): 219-226.
- Brusca, R. C. 1973. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona. 513 pp.
- Buck, A. C. E., N. M. Gardiner y L. Boström-Einarsson. 2016. Citric acid injections: an accessible and efficient method for controlling outbreaks of the Crown-of-thorns starfish *Acanthaster cf. solaris*. *Diversity* 8: 258-269.

- Burnell, D. J. y J. W. Apsimon. 1983. Echinoderm Saponins. *En*: Scheuer J. Paul. Marine Natural Products. Chemical and Biological Perspectives Volume V. Department of Chemistry. University of Hawaii. Honolulu Hawaii. Academic Press, INC. 287-379 pp.
- Byrne, M. y T. D. O'Hara. (eds). 2017. Australian Echinoderms: Biology, Ecology and Evolution. CSIRO Publishing, Melbourne. 612 pp.
- Campbell, A. C. y R. F. G. Ormond. 1970. The threat of the crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) to coral reefs in the Indo-Pacific area: observations on a normal population in the Red Sea. *Biological Conservation* 2(4): 246-251.
- Caso, M. E. 1961. Observaciones sobre especies pacificas 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. 1972. El género *Acanthaster*. Su biología, ecología y su efecto destructor de los arrecifes. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 33: 51-83.
- 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. Área interdisciplinaria de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, 62 pp.
- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). 2000. Estudio justificativo previo: Propuesta de declaración Área Marina Protegida, Complejo Insular Espíritu Santo. Documento de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Chesher, R. H. 1969. Destruction of the Pacific corals by the sea star *Acanthaster planci*. *Science* 165: 280-283.
- Cintra-Buenrostro, C. E., H. Reyes-Bonilla y O. Arizpe-Covarrubias. 1998. Los equinodermos (Echinodermata) del arrecife de Cabo Pulmo, Pacífico de México. *Revista de Biología Tropical* 46(2): 341-344.

- Cintra-Buenrostro, C. E., H. Reyes-Bonilla y M. D. Herrero-Pérezrul. 2005. Oceanographic conditions and diversity of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in the Gulf of California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 245-261.
- Comision Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2014. Programa de Manejo Parque Nacional exclusivamente la zona marina del Archipiélago de Espíritu Santo 232 pp.
- Cowan, Z. L., M. Pratchett, V. Messmer y S. Ling. 2017. Known predators of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster* spp.) and their role in mitigating, if not preventing, population outbreaks. *Diversity* 9 (7): 1-19.
- Cumming, R. L. 2002. Tissue injury predicts colony decline in reef-building corals. *Marine Ecology Progress Series* 242: 131-141.
- Dana, T. y 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'ath, G. y P. J. Moran. 1998. Factors affecting the behavior of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* L.) on the Great Barrier Reef: 2: Feeding preferences. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 220: 107-126.
- De Vantier, L. M. y T. J. Done. 2007. Inferring Past Outbreaks of the crown-of-thorns seastar from scar patterns on coral heads. *En: Aronson R. B. (ed.). Geological Approaches to Coral Reef Ecology*. Springer, USA pp. 85-125.
- Endean, R., A. M. Cameron, L. M. De Vantier. 1988. *Acanthaster planci* predation on massive corals: the myth of rapid recovery of devastated reefs. *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia* 2: 143-148.

- Enochs, I. C., y P. W. Glynn. 2017. Corallivory in the eastern Pacific. *En: Glynn, P. W., D. Manzello, D. Enochs y C. Ian. (eds.). Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 315–337.*
- Fabricius, K. E. 2013. *Acanthaster planci*. *En: Lawrence J. M. (ed.). Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 132-141.*
- Fabricius, K. E., K. Okaji y G. De'ath. 2010. Three lines of evidence to link outbreaks of the crown-of-thorns *Acanthaster planci* to the release of larval food limitation. *Coral Reefs* 29(3): 593-605.
- Glynn, P. W. 1973. *Acanthaster*: Effect on coral reef growth in Panama. *Science. Washington, D.C. 180: 504–506.*
- 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. 1984. An amphinomid worm predator of the Crown-of-thorns sea star and general predation on asteroids in eastern and western Pacific coral reefs. *Bulletin of Marine Science* 35(1): 54-71.
- Glynn, P. W. 1990. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical Eastern Pacific. *En: Glynn P. W. (ed.). Global ecological consequences of the 1982-83 El Nino-Southern oscillation. Elsevier Oceanography Series pp. 55-126.*
- González-Medina, F. J., O. E. Holguín-Quiñones y G. De la Cruz-Agüero. 2006. Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 32(1A): 33-44.
- Goreau, T. F. 1964. On the predation of coral by the spiny starfish *Acanthaster planci* (L.) in the southern Red Sea. *Bulletin of the sea Fisheries Research station of Israel* 35: 23-26.

- Guzmán, H. M., y J. Cortés. 1989. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bulletin of Marine Science* 44(3): 1186–1194.
- Gúzman-Méndez, I. A. 2009. Estructura de las asociaciones de algunos invertebrados del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California Sur, 100 pp.
- Harrison, B. H., M. S. Pratchett, V. Messmer, P. Saenz-Agudelo y M. L. Berumen. 2017. Microsatellites reveal genetic homogeneity among outbreak populations of Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster cf. solaris*) on Australia’s Great Barrier Reef. *Diversity* 9 (1).
- Haszprunar, G. y 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 y 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): 1-10.
- Hernández-Morales, A. 2018. Estudio de la estrella de mar “Corona de espinas” *Acanthaster planci* (Echinodermata: Acanthasteridae) en las comunidades arrecifales del Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politecnico Nacional, La Paz, Baja California Sur 79 pp.
- 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.
- Holguin-Quiñones, O., H. W. López y F. A. Solís-Marín. 2000. Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea en fondos someros de la Bahía de Loreto, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 48(4): 749-757.

- Katz, S. M., F. J. Pollock, D. G. Bourne, B. L. Willis. 2014. Crown-of-thorns starfish predation and physical injuries promote brown band disease on corals. *Coral Reefs* 33(3): 705-716.
- Kayal, M., J. Vercelloni, T. Lison de Loma, P. Bosserelle, Y. Chancerelle, S. Geoffroy, C. Stievenart, F. Michonneau, L. Penin, S. Planes y 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): 1-9.
- Keesing, J. K. 1990. Feeding biology of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*, (Linnaeus). Tesis Doctoral. James Cook University of North Queensland, Townsville, 197 pp.
- Keesing, J. K. y 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: 89–104.
- Kenchington, R. A. 1976. *Acanthaster planci* on the great barrier reef: detailed surveys of four transects between 19° and 20°S. *Biological Conservation* 9(3): 165-179.
- Lamare, M., D. Pecorino, N. Hardy, M. Liddy, M. Byrne y S. Uthicke. 2014. The thermal tolerance of crown-of-thorns (*Acanthaster planci*) embryos and bipinnarial larvae: implications for spatial and temporal variation in adult populations. *Coral Reefs* 33: 207-219.
- Lindsay, S. M. 2010. Frequency of Injury and the Ecology of Regeneration in Marine Benthic Invertebrates. *Integrative and Comparative Biology* 50 (4): 479-493.
- Luna-Salguero, B. M. y H. Reyes-Bonilla. 2010. Estructura comunitaria y trófica de las estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) en arrecifes rocosos de Loreto, Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 20(2): 127-134.

- 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.
- Manly, B. F. J., L. L. McDonald y D. L. Thomas, 1993. Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies. Chapman and Hall, London. 177 pp.
- McManus, J. W., J. F. Polsenberg. 2004. Coral-algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Progress in Oceanography* 60: 263-279.
- Moore, R. J. 1978. Is *Acanthaster planci* an r-strategist? *Nature* 271: 56-57.
- Moore, R. J. 1990. Persistent and transient populations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. En: Bradbury, R. (ed.) *Acanthaster and the coral reef: A theoretical perspective*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 236-277.
- Moran, P. J. 1986. The *Acanthaster* phenomenon. Aberdeen University Press in *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 24: 379-480.
- Moran, P. J. y G. De'ath. 1992. Estimates of the abundance of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* in outbreaking and non-outbreaking populations on reefs within the great barrier Reef. *Marine Biology* 113: 509-515.
- Mueller, B., A. R. Bos, G. Graf y G. S. Gumanao. 2011. Size-specific locomotion rate and movement pattern of four common Indo-Pacific sea stars (Echinodermata; Asteroidea). *Aquatic Biology* 12: 157-164.
- Murillo-Cisneros, D. A. 2012. Variación espacio-temporal de *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Área interdisciplinaria de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur 63 pp.
- NOAA. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) diagnostic discussion. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_dec2015/ensodisc.html

- Nugues, M. M. y R. P. M. Bak. 2009. Brown-band syndrome on feeding scars of the crown-of-thorn starfish *Acanthaster planci*. *Coral Reefs* 28: 507-510.
- Ormond, R., A. Campbell, S. Head, R. Moore, P. Rainbow y A. Saunders. 1973. Formation and breakdown of aggregations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.). *Nature* 228: 167-168.
- Osborne, K., A. M. Dolman, S. C. Burgess y K. A. Johns. 2011. Disturbance and the Dynamics of Coral Cover on the Great Barrier Reef (1995–2009). *PLoS ONE* 6(3): e17516.
- Pecorino, D., M. D. Lamare, M. F. Barker y M. Byrne. 2013. How does embryonic and larval thermal tolerance contribute to the distribution of the sea urchin *Centrostephanus rodgersii* (Diadematidae) in New Zealand? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 445: 120-128.
- Pratchett, M. S. 2001. Influence of coral symbionts on feeding preferences of crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* in the western Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 214: 111-119.
- Pratchett, M. S. 2007. Feeding preferences of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) under controlled conditions of food availability. *Pacific Science* 61(1): 113-120.
- Pratchett, M. S., C. F. Caballes, J. A. Rivera-Posada y H. P. A. Sweatman. 2014. Limits to understanding and managing outbreaks of Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.). *Oceanography and Marine Biology* 52: 133-200.
- Pratchett, M. S., S. Dworjanyn, B. Mos, C. F. Caballes, C. A. Thompson y S. Blowes. 2017. Larval survivorship and settlement of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* cf. *solaris*) at varying algal cell densities. *Diversity* 9(2): 1-11.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>

- Reyes-Bonilla, H. 2003. Coral Reefs of the Pacific Coast of Mexico. Latin American Coral Reefs. Elsevier. 331 pp.
- Reyes-Bonilla, H. y L. E. Calderon Aguilera. 1999. Population Density, Distribution and Consumption Rates of Three Corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology* 20 (3-4): 344-357.
- Reyes-Bonilla, H. y R. A. López-Pérez. 2009. Corals and Coral-Reef Communities in the Gulf of California. *En: Johnson M. E., J. Ledesma-Vásquez (eds.) Atlas of Coastal Ecosystems in the Gulf of California. Past and Present. University of Arizona Press, pp. 45–57.*
- Reyes-Bonilla, H., A. G. Azcárraga y A. R. Sierra. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 233-244.
- Reyes-Bonilla, H., D. Herrero-Pérezrul, I. Sánchez Alcántara y A. Weaver. 2007. Línea base de información biofísica de Espíritu Santo. *En: Sociedad de Historia Natural Niparájá (ed.) Pescando información en Espíritu Santo: generación de información socioeconómica, de gobernabilidad y biofísica.*
- Rojero-Leon, S. 2009. Estructura comunitaria de Equinodermos Conspicuos de las islas: San José, Espíritu Santo y Cerralvo, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Área interdisciplinaria de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz Baja California Sur 57 pp.
- Rodríguez-Villalobos, J. C. y A. Ayala-Bocos. 2018. Coral colonies in the eastern tropical Pacific: predation by *Acanthaster cf. solaris*. *Pacific Conservation Biology* 24(4): 419-420.
- Rodríguez-Villalobos, J. C., T. M. Work, L. E. Calderon Aguilera, H. Reyes-Bonilla y L. Hernández. 2015. Explained and unexplained tissue loss in corals from the Tropical Eastern Pacific. *Diseases of aquatic organisms* 116: 121-131.
- Rotjan, R. D. y S. M. Lewis. 2008. Impact of coral predators on tropical reefs. *Marine Ecology Progress Series* 367: 73-91.

- Sano, M. 2000. Stability of reef fish assemblages: responses to coral recovery after catastrophic predation by *Acanthaster planci*. *Marine Ecology Progress Series* 198: 121-130.
- Sigl, R. y C. Laforsch. 2016. The influence of water currents on movement patterns on sand in the Crown-of-thorns seastar (*Acanthaster cf. solaris*). *Diversity* 8: 239-248.
- Sigl, R., S. Steibl y C. Laforsch. 2016. The role of vision for navigation in the crown-of-thorns seastar, *Acanthaster planci*. *Scientific Reports* 6: 1-7.
- Sloan, N. A. 1980. The arm curling and terminal tube-foot responses of the asteroid *Crossaster papposus* (L.) *Journal of Natural History* 14: 469-482.
- Solís-Marín, F. A. 1998. Catálogo de los equinodermos recientes de México (Fase I). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G010. México, D.F. *En: CONABIO Anexo 4.20. Listado de especies de equinodermos del estado de Michoacán. En: La Biodiversidad en Michoacán Estudio de estado.*
- Solís-Marín, F. A., H. Reyes-Bonilla, M. D. Herrero-Pérezrul, O. Arizpe-Covarrubias y A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. *Ciencias Marinas* 23(2): 249-263.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. G. Ahearn y J. Torres Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 123-137.
- Solís-Marín, F. A., M. Honey-Escandón, B. I. Herrero-Pérezrul, Ma. D., Benítez- Villalobos, F., Díaz-Martínez, J. P., Buitrón-Sánchez, B. E., Palleiro-Nayar J. S. y A. Durán-González. 2013. Echinoderms from Mexico: Biodiversity, distribution and current state of knowledge. *En: Alvarado-Barrientos, J. J. y F. A. Solís-Marín. 2013. Echinoderm research and Diversity in Latin America. Springer, pp. 11-65.*

- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figuera, P. Estrada Rodríguez, M. B. Honey-Escandón, C. Martín Cao-Romero, y A. Durán González. 2014. Los Asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) del Golfo de California, México. 212 pp.
- Steinbeck, J. y E. F. Ricketts. 2009. Sea of Cortez: A Leisurely Journal of Travel and Research. Penguin Books, Estados Unidos. 656 pp.
- Sweatman, H. 2008. No-take reserves protect coral reefs from predatory starfish. *Current Biology* 18(14): 598-599.
- Timmers, M. A., C. E. Bird, D. J. Skillings, P. E. Smouse, R. J. Toonen. 2012. There's no place like home: Crown-of-thorns outbreaks in the Central Pacific are regionally derived and independent events. *PLoS ONE* 7(2): 1-14.
- Tusso, S., K. Morcinek, C. Vogler, P. J. Schupp, C. F. Caballes, S. Vargas y G. Wörheide. 2016. Genetic structure of the crown-of-thorns seastar in the Pacific Ocean, with focus on Guam. *PeerJ* 4: 1-22.
- Ulate-Naranjo, K. 2016. Modelación de nicho ecológico de especies representativas de la comunidad de macroinvertebrados de arrecifes rocosos del Golfo de California. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur 178 pp.
- Uthicke, S., B. Schaffelke y M. Byrne. 2009. A boom-bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs* 79 (1): 3-24.
- Uthicke, S., M. Lamare y J. R. Doyle. 2018. eDNA detection of corallivorous seastar (*Acanthaster cf. solaris*) outbreaks on the Great Barrier Reef using digital droplet PCR. *Coral Reefs* 37: 1229-1239.
- Vogler, C., J. Benzie, H. Lessios, P. Barber y G. Wörheide. 2008. A threat to coral reefs multiplied? Four species of crown-of-thorns starfish. *Biology Letters* 4: 696-699.

- Vogler, C., J. A. H. Benzie, K. Tenggardjaja, Ambariyanto, P. H. Barber y G. Wörheide. 2013. Phylogeography of the crown-of-thorns starfish: genetic structure within the Pacific species. *Coral Reefs* 32: 515-525.
- Work, M. T., G. S. Aeby. 2006. Systematically describing gross lesions in corals. *Diseases of Aquatic Organisms* 70: 155-160.
- WoRMS Editorial Board. 2019. World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Acceso 2019-06-28. doi:10.14284/170
- Yamaguchi, M. 1986. *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. *Coral Reefs* 5: 23-30.
- Yasuda, N., K. Ogasawara, K. Kajiwara, M. Ueno, K. Oki, H. Taniguchi, S. Kakuma, K. Okaji y K. Nadaoka. 2010. Latitudinal differentiation of crown-of-thorns starfish, (*Acanthaster planci*) reproduction patterns through the Ryukyu Islands Archipelago. *Plankton Benthos Research* 5(4): 156-164.
- Zapata, F. A., M. 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): 1-4.

ANEXOS

Anexo 1. Localización geográfica de los sitios de estudio para *Acanthaster* cf. *solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Sitio	Latitud	Longitud
Corralito (Empachado)	24°26'49.15"	110°22'37.97"
Dispensa	24°24'2.00"	110°20'52.00"
El Bajito	24°35'49.20"	110°24'28.80"
El Erizoso	24°26'28.00"	110°22'36.30"
La Ballena	24°28'48.00"	110°24'14.40"
Las Navajas	24°24'15.49"	110°21'0.88"
Los Islotes	24°35'54.09"	110°24'2.18"
Pailebote	24°30'12.60"	110°18'35.28"
Punta Gallina	24°27'36.10"	110°22'10.60"
Punta Gallo	24°27'54.00"	110°23'13.20"
Punta Raza	24°28'30.60"	110°23'12.90"
San Gabriel	24°25'48.00"	110°21'50.40"
Roca Swan	24°23'31.20"	110°18'21.60"
Tintorera	24°33'50.40"	110°24'57.60"

Anexo 2. Densidad (promedio \pm DE) de *Acanthaster cf. solaris* en el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo (sitios ordenados latitudinalmente de norte a sur).

Sitio	Número de individuos	Número de transectos	Área muestreada (m ²)	Área muestreada (ha)	Densidad (ind/m ² \pm DE)	Densidad (ind/ha \pm DE)
El Bajito	4	6	450	0.045	0.009 \pm 0.006	89 \pm 69
Tintorera	3	6	450	0.045	0.007 \pm 0.011	67 \pm 111
Pailebote	2	6	450	0.045	0.004 \pm 0.006	44 \pm 69
La Ballena	10	6	450	0.045	0.022 \pm 0.030	222 \pm 300
Punta Raza	1	6	450	0.045	0.002 \pm 0.005	22 \pm 54
Punta Gallo	1	6	450	0.045	0.002 \pm 0.005	22 \pm 54
Punta Gallina	0	3	225	0.022	0	0
Corralito (Empachado)	36	7	525	0.052	0.069 \pm 0.052	686 \pm 524
El Erizoso	4	6	450	0.045	0.009 \pm 0.010	89 \pm 109
San Gabriel	0	3	225	0.022	0	0
Las Navajas	0	6	450	0.045	0	0
Dispensa	0	6	450	0.045	0	0
Roca Swan	7	7	525	0.052	0.013 \pm 0.017	133 \pm 172
Total	68	74	5550	0.55	0.012 \pm 0.026	122 \pm 267

*En el sitio Los Islotes no se tomaron datos de densidad debido a dificultades en el campo, por lo tanto no es incluido en este análisis.

